

国外工业控制与智能制造丛书

HZ BOOKS  
华章教育

Mc  
Graw  
Hill  
Education

# 工业电器 与电动机控制

(原书第2版)

[美] 雷克斯·米勒 (Rex Miller) 著  
[美] 马克 R. 米勒 (Mark R. Miller) 著  
路志英 译

*Industrial Electricity  
and Motor Controls  
Second Edition*

INDUSTRIAL  
ELECTRICITY  
and MOTOR  
CONTROLS

Second Edition

REX MILLER and MARK R. MILLER

Mc  
Graw  
Hill  
Education



机械工业出版社  
China Machine Press



工业电器及电动机控制作为电气自动化的一个重要内容，已经广泛应用于国民经济各个领域。本书系统地讲述了各种面向工业应用的常用电路，总结了电路常见故障，并增加了机器人的相关内容。有电子学基础的读者可以跳过本书绪论和前三章涉及的工具与设备、安全生产、符号内容，直接阅读后面章节。

本书主要内容包括：控制电路与接线图、开关、磁性与螺线管、继电器、电动机、定时器与传感器、传感与传感器、螺线管与阀门、电动机的起动方法、固态降压起动、转速控制与监测、电动机控制与保护、三相控制器、驱动器、变压器、发电、配电系统、可编程序控制器、机器人与机器人学和电力相关职业。与国内同类书籍相比本书特别注重基本理念与实际操作论述，内容通俗易懂、图文并茂，辅以应用实例和实际经验，并引用大量实用、准确的技术数据，针对性强，可作为工科院校相关专业学生的理论学习参考用书，也可作为我国电气系统相关技术人员的技术参考书。

## 作者简介

**雷克斯·米勒 (Rex Miller)** 是纽约州立大学布法罗学院工业技术专业的美誉教授，从事教学工作四十多年。他是一百多部教科书的作者及合著者，其中包括畅销书《Carpentry and Construction》《Electrician's Pocket Manual》《Electricity and Electronics for HVAC》。

**马克 R. 米勒 (Mark R. Miller)** 是得克萨斯大学泰勒分校工业技术专业的教授和负责人，是四十多部教科书的作者及合著者，其中包括畅销书《Refrigeration: Home and Commercial》《Air Conditioning: Home and Commercial》《Electricity and Electronics for HVAC》。

全球智慧中文化

投稿热线: (010) 88379604  
客服热线: (010) 88378991 88361066  
购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

封面设计: 锡彬

华章网站: [www.hzbook.com](http://www.hzbook.com)  
网上购书: [www.china-pub.com](http://www.china-pub.com)  
数字阅读: [www.hzmedia.com.cn](http://www.hzmedia.com.cn)



上架指导: 工业自动化与电机

ISBN 978-7-111-58490-2



9 787111 584902 >

定价: 99.00元





# 工业电器 与电动机控制

(原书第2版)

[美] 雷克斯·米勒 (Rex Miller) 著  
[美] 马克 R. 米勒 (Mark R. Miller) 著  
路志英 译

*Industrial Electricity  
and Motor Controls  
Second Edition*

INDUSTRIAL  
ELECTRICITY  
and MOTOR  
CONTROLS

Second Edition

REX MILLER and MARK R. MILLER

Mc  
Graw  
Hill



机械工业出版社  
China Machine Press



图书在版编目 (CIP) 数据

工业电器与电动机控制 (原书第 2 版) / (美) 雷克斯·米勒 (Rex Miller), (美) 马克 R. 米勒 (Mark R. Miller) 著; 路志英译. —北京: 机械工业出版社, 2017.8  
(国外工业控制与智能制造丛书)  
书名原文: Industrial Electricity and Motor Controls, Second Edition  
ISBN 978-7-111-58490-2

I . 工… II . ① 雷… ② 马… ③ 路… III . 电器控制系统 IV . TM571.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 283682 号

本书版权登记号: 图字 01-2014-4755

Rex Miller, Mark R. Miller : Industrial Electricity and Motor Controls, Second Edition (978-0-07-181869-8).

Copyright © 2014, 2008 by McGraw-Hill Education.  
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education and China Machine Press. This edition is authorized for sale in the People’s Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2018 by McGraw-Hill Education and China Machine Press.  
版权所有。未经出版人事先书面许可, 对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播, 包括但不限于复印、录制、录音, 或通过任何数据库、信息或可检索的系统。  
本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔 (亚洲) 教育出版公司和机械工业出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内 (不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区) 销售。  
版权 © 2017 由麦格劳-希尔 (亚洲) 教育出版公司与机械工业出版社所有。  
本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

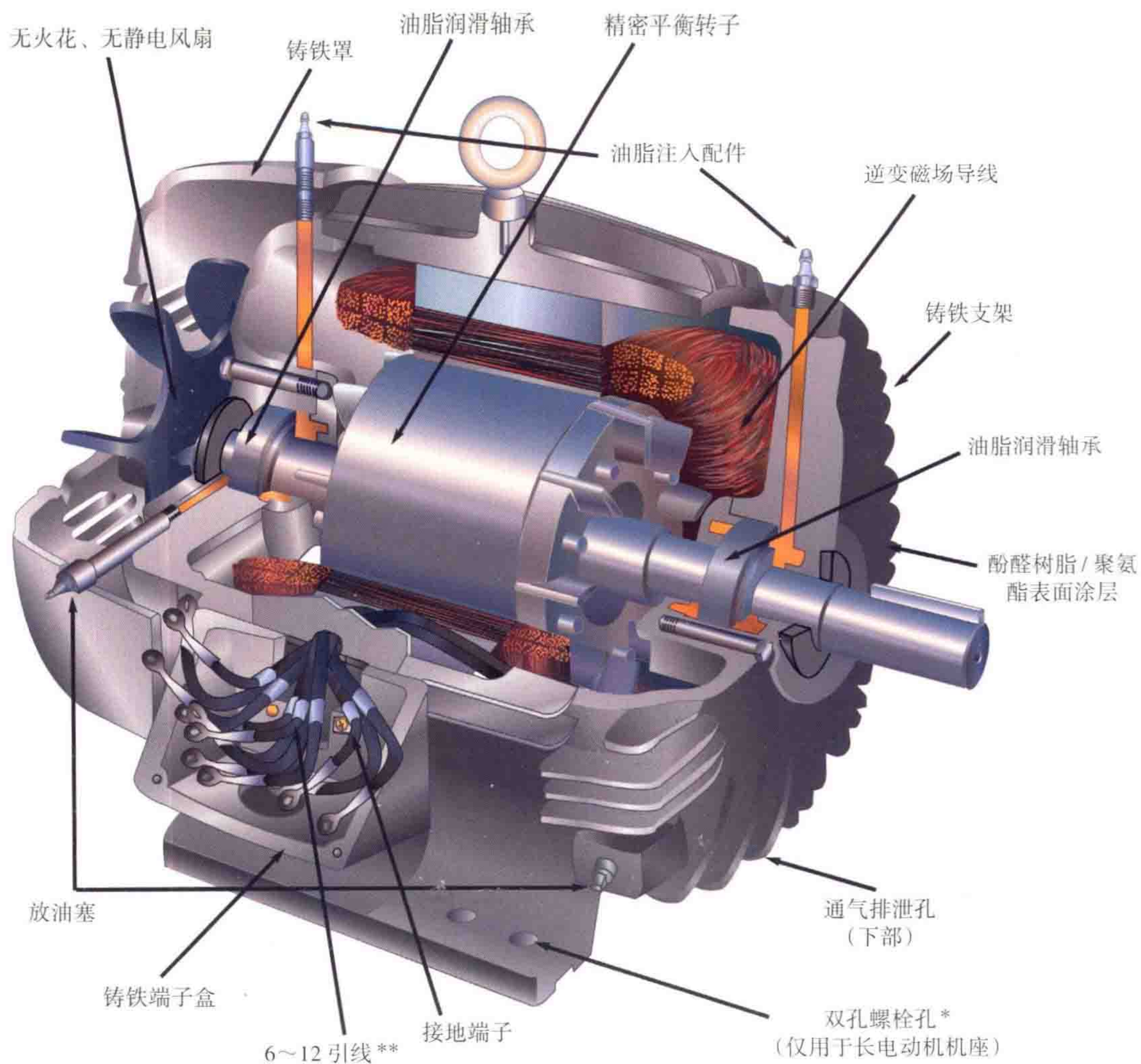
工业电器及电动机控制作为电气自动化的一个重要内容, 已经被广泛应用于各个行业。本书系统地讲述了各种基础电路的工作原理以及面向工业应用的常用电路, 总结了电路常见故障, 为提高读者的实践技能和解决工作中的实际问题提供了有益的参考。  
本书结合生产实际, 介绍了如下内容: 常用元器件符号, 控制电路原理图和接线图, 电气开关、继电器、电磁阀、电动机、定时器、传感器、固态起动器等的工作原理及控制和故障排查方法。  
本书通俗易懂、图文并茂、内容充实, 辅以应用实例和实际经验, 并引用了大量实用、准确的技术数据, 可供电气维修人员阅读, 也可作为工科院校相关专业学生的参考用书。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)	
责任编辑: 蒋 越	责任校对: 殷 虹
印 刷: 中国电影出版社印刷厂	版 次: 2018 年 1 月第 1 版第 1 次印刷
开 本: 185mm×260mm 1/16	印 张: 27.5
书 号: ISBN 978-7-111-58490-2	定 价: 99.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换	
客服热线: (010) 88378991 88361066	投稿热线: (010) 88379604
购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259	读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究  
封底无防伪标均为盗版  
本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东





- 全封闭扇冷式电机，防护等级为 IP54/IP55 (IP55 用于机座为 5000 或更长的电机)
- 铸铁机座、尾轴承架、风扇罩和端子盒
- \* 多种安装结构 (145T/143T 到 449T 机座，采用钻脚孔安装)
- 自动放油配件防止真空除气可重复注油的电机轴承过压
- 280TS 机座，使用 Polyrex EM 润滑油，真空除气可重复注油的滚珠轴承
- 油漆：酚醛树脂防锈基层加聚氨酯表面涂层（颜色：亮灰，蒙塞尔色卡 No.5）
- 280TS 到 6800 机座，两端具有迷宫金属护圈



- 内部组件为 F 级绝缘，两遍 PAR 清漆然后烘烤
- 设计标准：40℃ 环境温度，B 级温升
- 可双向旋转的 1045 碳钢轴（双极电动机为 5000 机座或更大时是非双向的）
- 铝合金压铸鼠笼转子适用于小型电动机（5000 机座或更小），铜或铜合金转子适用于大型电动机（5800 机座或更大）
- 双极电动机的绝缘非驱动轴承端其电机功率为 600hp 或更大



- 不锈钢铭牌
- 电压需求：3 相，60Hz，230/460V (208V 可用)，也有 575V 电动机，非标的为 190/380V，50Hz 电动机
- 150hp 以上的电动机电压只有 460V
- C 法兰底座安装，圆体 C 法兰：1~300hp
- 1.15 倍连续运行因子



- 超大端子盒，完全密封，NPT 标准入口
- 具有变频能力，单防尘盖轴承，接地端子位于接线盒中，变频磁场的导线具备承受 2200V 尖峰电压的能力
- UL 认可的、CSA 批准的，符合 NEMA 标准的变频能力（运行因子 1.0）
- \*\*6 引线（150hp 及以上）
- \*\*9 引线（5hp 及以下）
- \*\*12 引线（7.5~125hp）



## 译者序

本书是作者根据美国的行业背景编写的一本专业技术参考书，第2版主要内容包括：与安全生产相关的工具与规程；电路基本理论，开关、继电器、螺线管及阀门、定时器与传感器等工业低压电器设备；电动机工作原理与分类，电动机的启动、调速及其可编程逻辑电路；发电机与变压器工作原理与分类；工矿企业配电系统的常用接线、备用电源系统、常用电气系统与设备的故障排除；工业机器人、电气相关的职业与工作内容介绍等。本书与国内类似书籍相比特别注重对基本理念与实际操作的论述，内容通俗易懂，针对性强。译者相信，本书可作为工科院校相关专业学生的理论学习参考用书，也可作为我国电气系统相关技术人员的技术参考书。

本书由路志英翻译，葛少云对部分章节的翻译工作提供了帮助，在翻译过程中得到了课题组研究生徐正阳、朱林伟、赵晗、任一墨和李鑫的大力协助，在此表示由衷的感谢。全书由路志英统稿并最终定稿。

由于译者水平有限，译文中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

路志英  
2017年10月  
天津大学



# 前言

本书要求读者具有基础电工学、电动机理论与操作的实践知识。当然，本书也提供了相关的基础知识供读者快速复习，在这些知识的基础上还提供了许多维护系统的实践知识。

本书提供了透彻理解电动机控制器及其理论、操作、安装和各种电力系统维护的所有信息，主要用于培训初学者、熟练工以及职业技术学校学生，他们需要较好地掌握专业术语与操作流程。

我们为技术员和初学者提供了术语表，其目的在于帮助他们跟踪相关术语与设备的快速变化。

本书有设备的插图，这些设备长期服务于这个领域，虽然该领域发展迅速，但这些资料对于那些试图追踪电动机控制领域最新发展的使用者是非常有价值的。显然，本书不能解决所有的问题，所以还需要读者在工作岗位上进行许多独创性工作。

如你所知，如果不接触水，那么你就不可能学会游泳。同理，你不可能仅仅通过阅读就能掌握电气控制的所有知识。读者必须具有获得实践经验的愿望，并致力于发展与工作相关的技能。

作者希望本书能够激发那些对这个既令人激动又具有挑战性的领域感兴趣读者的求知欲。

## 致谢

任何工作都离不开其他人的帮助和影响，本书也不例外。许多人和组织机构为本书无偿提供了大量的技术数据和插图，他们是：

Allen-Bradley, Div. of Rockwell Automation

Amprobe Instruments, Div. of SOS Consolidated, Inc.

Automatic Switch Co.

Banner Engineering Corp.

B&K Instruments

Biddle Instruments

Bodine Electric Co.

Bussman, Div. of Cooper Industries, Inc.

Cutler-Hammer Electric

FANUC Corporation

Honeywell, Inc.

Ideal Industries

Klein

Lincoln Electric Co.

National Association of Fire Equipment  
Distributors

Reliance Electric Co.



Simpson Instruments

Square D, Div. of Schneider Electric Co.

Teco-Westinghouse Motor Company

Tecumseh Products Company

Vitec, Inc.

Weston Electrical Instruments Company

雷克斯·米勒

马克 R. 米勒



译者序		
前言		
<b>绪论</b>	1	
I.1 学习目标	1	
I.2 什么是电	1	
I.3 元素与原子	1	
I.3.1 自由电子	2	
I.3.2 电流	2	
I.3.3 能量	2	
I.4 电工材料	2	
I.4.1 导体	2	
I.4.2 绝缘体	3	
I.4.3 半导体	3	
I.5 发电	4	
I.6 电压与电流	7	
I.6.1 电阻	8	
I.6.2 导线规格	9	
I.6.3 铜导线与铝导线的对比	10	
I.6.4 电路	11	
I.7 欧姆定律	12	
I.8 功率	13	
I.9 电的测量	14	
I.9.1 仪表	14	
I.9.2 其他类型的仪表	19	
I.10 电能控制	20	
I.10.1 开关	20	
I.10.2 螺线管	23	
I.10.3 继电器	23	
I.10.4 二极管	24	
I.11 电阻	24	
I.12 思考题	26	
<b>第 1 章 工具与设备</b>	27	
1.1 学习目标	27	
1.2 手工工具	27	
1.2.1 螺钉旋具	27	
1.2.2 钳子	28	
1.2.3 锤子	29	
1.2.4 钢锯	29	
1.2.5 扳手	30	
1.2.6 螺母旋具	31	
1.2.7 轴承和衬套工具	32	
1.2.8 无焊接插件紧线钳	32	
1.2.9 电烙铁	32	
1.3 焊枪	33	
1.3.1 线规	33	
1.3.2 熔丝拔钳	33	
1.3.3 转速计	33	
1.3.4 出坯杆	34	
1.3.5 穿线器	34	
1.3.6 电缆剥线钳	34	
1.3.7 电缆剪	34	
1.3.8 电工刀	35	
1.3.9 其他工具	35	
1.4 电动工具	35	
1.4.1 便携式电流表和电压表	35	
1.4.2 兆欧表	35	
1.4.3 电压检测器	36	
1.4.4 万用表	36	
1.4.5 数字逻辑探针	36	
1.4.6 连通测试仪	38	
1.4.7 插头极性测试仪	38	
1.4.8 记录仪	38	
1.4.9 示波器	38	
1.4.10 相序适配器	39	
1.4.11 平衡分析仪	39	
1.5 特殊工作需要的专用工具	39	
1.5.1 印制电路板拔出器	39	
1.5.2 绕接 / 解开工具	39	
1.5.3 弯管机	40	
1.5.4 PVC 管切割刀	40	
1.5.5 电缆弯曲器	40	
1.5.6 导管铰刀	41	



1.6 思考题 .....	41	3.7 练习题 .....	65
1.7 练习题 .....	41	<b>第 4 章 控制电路与接线图</b> .....	66
<b>第 2 章 安全生产</b> .....	42	4.1 学习目标 .....	66
2.1 学习目标 .....	42	4.2 接线图 .....	66
2.2 电击 .....	42	4.3 线路图或梯形图 .....	68
2.3 电气安全措施 .....	43	4.4 欠电压释放 .....	69
2.3.1 使用接地故障断路器 .....	43	4.5 双线控制线路 .....	69
2.3.2 安全装置 .....	44	4.6 温控器控制 .....	69
2.3.3 电路保护 .....	44	4.7 欠电压保护 .....	70
2.3.4 过电流 .....	44	4.8 三线控制电路 .....	71
2.3.5 过载 .....	44	4.9 控制线路的过电流保护 .....	73
2.3.6 短路 .....	44	4.10 控制电路中的变压器 .....	74
2.3.7 熔断器 .....	45	4.11 思考题 .....	76
2.4 电气规程 .....	46	4.12 练习题 .....	77
2.4.1 美国国家电气规程 .....	46	<b>第 5 章 开关</b> .....	78
2.4.2 美国安全检测实验室 .....	46	5.1 学习目标 .....	78
2.4.3 加拿大标准协会 .....	47	5.2 控制电 .....	78
2.4.4 其他国家的标准 .....	48	5.3 鼓形开关 .....	79
2.5 职业安全与健康法案 .....	48	5.3.1 易于转变 .....	79
2.5.1 设备标准 .....	48	5.3.2 三相开关 .....	79
2.5.2 OSHA 色码 .....	49	5.3.3 直流开关 .....	80
2.6 灭火器 .....	49	5.4 浮动开关 .....	80
2.7 安全操作规程 .....	49	5.5 流量开关 .....	82
2.8 工具安全 .....	52	5.6 脚踏开关 .....	83
2.8.1 正确使用锤子 .....	52	5.7 操纵杆开关 .....	83
2.8.2 工作服 .....	52	5.8 互锁开关 .....	84
2.8.3 断电 .....	53	5.8.1 机械互锁 .....	84
2.8.4 安全使用电动机和发电机 .....	53	5.8.2 按钮互锁 .....	85
2.8.5 接地 .....	54	5.8.3 辅助触点互锁 .....	85
2.9 思考题 .....	56	5.9 限位开关 .....	86
2.10 练习题 .....	56	5.9.1 限位开关的类型 .....	87
<b>第 3 章 符号</b> .....	57	5.9.2 限位开关电路 .....	89
3.1 学习目标 .....	57	5.10 压力开关 .....	89
3.2 电气符号 .....	57	5.11 按钮开关 .....	91
3.2.1 常见的开关(按钮)符号 .....	57	5.12 安全开关 .....	91
3.2.2 标准接线图符号 .....	57	5.13 选择开关 .....	92
3.3 电子元器件符号 .....	61	5.14 单刀开关 .....	92
3.3.1 电阻色标 .....	62	5.15 起停开关 .....	92
3.3.2 电子元器件符号的对比 .....	63	5.16 温度开关 .....	93
3.4 继电器触点符号 .....	63	5.17 拨动开关 .....	93
3.5 线路图、接线图和梯形图 .....	64	5.18 晶体管开关 .....	94
3.6 思考题 .....	65	5.19 真空开关 .....	94



5.20	思考题	94	7.7.1	热过载继电器的类型	115
5.21	练习题	94	7.7.2	手动复位易熔合金型过载继电器 (NEMA 标准)	115
<b>第 6 章 磁性与螺线管</b>		96	7.7.3	双金属片过载继电器 (NEMA 标准)	115
6.1	学习目标	96	7.7.4	温度补偿	115
6.2	螺线管	97	7.8	电磁继电器和电动机	118
6.2.1	电磁阀	97	7.9	机电继电器	119
6.2.2	全自动燃气炉电磁阀	98	7.10	继电器的工作特性	120
6.3	电磁阀的构造	98	7.10.1	触点寿命	121
6.3.1	衔铁和铁心中的涡流	99	7.10.2	触点结构	121
6.3.2	气隙和衔铁	99	7.10.3	继电器线圈	121
6.4	短路环	99	7.10.4	冲击与振动	122
6.5	螺线管线圈	100	7.10.5	继电器和海拔	122
6.5.1	维持电流额定值	100	7.11	思考题	122
6.5.2	线圈电压	100	7.12	练习题	122
6.5.3	电压变化的影响	101	<b>第 8 章 电动机</b>		124
6.6	交流噪声	101	8.1	学习目标	124
6.7	思考题	102	8.2	电动机的分类	124
6.8	练习题	102	8.3	直流电动机	124
<b>第 7 章 继电器</b>		103	8.3.1	工作原理	125
7.1	学习目标	103	8.3.2	反电动势	125
7.2	继电器	103	8.3.3	负载	126
7.2.1	继电器螺线管	103	8.3.4	直流电动机的类型	126
7.2.2	继电器的用途	104	8.3.5	串励直流电动机	126
7.2.3	继电器衔铁	104	8.3.6	并励直流电动机	127
7.2.4	继电器触点	104	8.3.7	复励直流电动机	127
7.3	固态继电器	105	8.3.8	电枢种类	127
7.3.1	晶体管	105	8.3.9	旋转方向	128
7.3.2	浪涌保护	105	8.3.10	电动机的转速	128
7.3.3	双向可控硅	106	8.3.11	电枢反应	128
7.3.4	可控硅整流器	107	8.3.12	补偿绕组和换向极	129
7.4	断相继电器	108	8.3.13	直流电动机的起动电阻	129
7.5	固态监控继电器	110	8.3.14	直流电动机的特性和应用	129
7.5.1	电压继电器	110	8.3.15	直流电动机故障排除	130
7.5.2	电流继电器	111	8.4	交流电动机	130
7.5.3	过电压 / 欠电压继电器	111	8.4.1	交流电动机的类型	130
7.6	固态继电器开关的类型	111	8.4.2	串励交流电动机	130
7.6.1	开关继电器负载	112	8.4.3	交流电动机中的磁场	131
7.6.2	热敏继电器	112	8.4.4	两相旋转磁场	131
7.6.3	触点放大继电器	112	8.4.5	两相波形	131
7.6.4	负载监测和负载转换继电器	112	8.4.6	三相旋转磁场	132
7.6.5	典型应用	113			
7.7	热过载继电器	114			



8.4.7 同步电动机 .....	133	9.15.5 热敏电阻 .....	156
8.4.8 笼型电动机 .....	134	9.15.6 电阻测温器 .....	157
8.4.9 起动同步电动机 .....	134	9.15.7 半导体温度传感器 .....	157
8.4.10 感应电动机 .....	135	9.15.8 压力传感器 .....	157
8.4.11 定子结构 .....	135	9.15.9 应变式传感器 .....	158
8.4.12 转差 .....	136	9.15.10 压敏电阻传感器 .....	158
8.4.13 单相感应电动机 .....	137	9.16 思考题 .....	158
8.4.14 分相感应型 .....	137	9.17 练习题 .....	159
8.4.15 罩极式感应电动机 .....	138	<b>第 10 章 传感与传感器</b> .....	160
8.4.16 笼型电动机的转速和转差率 .....	139	10.1 学习目标 .....	160
8.4.17 旋转 .....	139	10.2 传感器的分类 .....	160
8.4.18 转矩和功率 .....	140	10.2.1 接触式传感器 .....	160
8.4.19 堵转转矩 .....	140	10.2.2 非接触式传感器 .....	161
8.4.20 最大转矩 .....	140	10.3 存在传感器 .....	161
8.4.21 转子堵转容量 .....	141	10.4 限位开关 .....	161
8.4.22 起动笼型电动机 .....	141	10.5 转速开关 .....	163
8.5 思考题 .....	142	10.6 压力控制器 .....	164
8.6 练习题 .....	142	10.7 工作原理 .....	165
<b>第 9 章 定时器与传感器</b> .....	143	10.8 温度控制器 .....	166
9.1 学习目标 .....	143	10.9 浮动开关 .....	168
9.2 时间与定时器 .....	143	10.10 编码器 .....	170
9.3 阻尼式或气动式延时定时器 .....	144	10.10.1 光学可编程控制编码器 .....	170
9.4 同步时钟定时器 .....	144	10.10.2 多路传输 .....	171
9.5 固态定时器 .....	144	10.11 接近开关 .....	171
9.6 延时继电器 .....	144	10.11.1 工作原理 .....	171
9.7 通用时间继电器 .....	145	10.11.2 固态开关 .....	171
9.8 可编程定时器的控制 .....	146	10.11.3 圆柱形感应接近开关 .....	171
9.9 数字固态定时器 / 计数器 .....	147	10.11.4 宽范围感应接近开关 .....	171
9.9.1 单阶段型 .....	147	10.11.5 紧凑型感应接近开关 .....	172
9.9.2 定时 / 计数模式 .....	147	10.11.6 自包含薄型接近开关 .....	172
9.9.3 双阶段型 .....	148	10.12 光电开关 .....	172
9.9.4 指轮开关 .....	149	10.12.1 工作原理 .....	172
9.10 DIP 开关 .....	150	10.12.2 特征 .....	173
9.11 气动式定时继电器 .....	150	10.12.3 光电光源 .....	173
9.12 电动定时器 .....	152	10.12.4 色标传感器 .....	174
9.13 顺序控制 .....	153	10.12.5 透明材料检测 .....	175
9.14 可编程定时器 .....	153	10.13 开关的应用 .....	175
9.15 传感器 .....	154	10.14 自动识别 .....	176
9.15.1 固态液位传感器 .....	154	10.15 射频识别系统 .....	176
9.15.2 电容传感器 .....	155	10.15.1 射频天线 .....	176
9.15.3 温度传感器 .....	155	10.15.2 射频终端 .....	176
9.15.4 热电偶 .....	156	10.16 条形码读取器与解码器 .....	177



10.16.1 手持型扫描器	177	12.16 多速起动器	202
10.16.2 移动光束式扫描器	177	12.16.1 低速闭锁继电器	202
10.17 多路复用技术	178	12.16.2 自动顺序加速继电器	202
10.18 视觉系统	178	12.16.3 自动顺序减速继电器	202
10.19 思考题	178	12.17 变极式电动机控制器	202
<b>第 11 章 螺线管与阀门</b>	179	12.18 全压起动器	207
11.1 学习目标	179	12.19 起动顺序	208
11.2 螺线管	179	12.20 低压保护	208
11.3 工业螺线管	180	12.21 时间延迟保护	209
11.3.1 管式螺线管	180	12.22 思考题	209
11.3.2 框架式螺线管	180	<b>第 13 章 固态减压起动器</b>	210
11.4 应用	180	13.1 学习目标	210
11.4.1 螺线管作为电磁铁	183	13.2 机电设备	210
11.4.2 螺线管线圈	183	13.3 减压起动	210
11.4.3 线圈的检修	184	13.4 可控硅整流器	211
11.5 电路中的电磁阀	185	13.5 固态无级加速	212
11.6 思考题	186	13.6 逻辑机架	212
<b>第 12 章 电动机的起动方法</b>	187	13.6.1 B-2 模块	213
12.1 学习目标	187	13.6.2 B-3 模块	213
12.2 电动机	187	13.6.3 B-4 模块	214
12.3 电动机的起动	188	13.6.4 B-5 模块	215
12.3.1 反向旋转	188	13.6.5 B-6 模块	215
12.3.2 用途	188	13.6.6 B-7 电压监控器模块	215
12.4 排斥感应电动机	189	13.6.7 B-8 节能模块	215
12.5 电容起动电动机	189	13.7 短路 SCR 开关	215
12.6 反向旋转	190	13.8 固态基础接线图	215
12.7 永久分相电容式电动机	191	13.9 双向触发二极管	217
12.8 罩极式电动机	191	13.10 双向可控硅	218
12.8.1 反向旋转	192	13.11 发光二极管	218
12.8.2 用途	192	13.12 采用固态控制器和电磁装置	219
12.9 分相电动机	192	13.13 浪涌电压抑制器	219
12.10 多相电动机起动器	193	13.14 防雷	219
12.11 减压起动方法	194	13.15 思考题	220
12.12 定子电阻起动	195	<b>第 14 章 转速控制与监测</b>	221
12.13 自耦变压器起动	196	14.1 学习目标	221
12.14 部分绕组起动	198	14.2 电动机转速控制	221
12.14.1 操作	199	14.3 笼型电动机	221
12.14.2 优点和缺点	199	14.4 同步电动机	222
12.15 Y- $\Delta$ 起动器	199	14.4.1 励磁磁场	222
12.15.1 操作	200	14.4.2 转速	222
12.15.2 优点和缺点	200	14.4.3 起动	223
12.15.3 Y- $\Delta$ 联结	200	14.4.4 起动方法	223



14.4.5 同步电动机的应用 .....	226	第 16 章 三相控制器 .....	248
14.5 绕线式电动机 .....	226	16.1 学习目标 .....	248
14.5.1 电阻调速 .....	226	16.2 三相电动机 .....	248
14.5.2 转速控制类型 .....	226	16.3 起动器 .....	249
14.5.3 多路开关起动器 .....	227	16.3.1 最简单的类型 .....	249
14.5.4 鼓形控制器 .....	227	16.3.2 全压双向起动器 .....	249
14.5.5 电磁起动器 .....	228	16.3.3 正转 - 反转 - 停止 .....	249
14.5.6 电阻器 .....	228	16.3.4 起动 - 停止 - 点动 .....	250
14.5.7 固态调速控制器 .....	229	16.3.5 双向起动器 .....	250
14.6 变频调速 .....	229	16.3.6 双速起动器 .....	251
14.7 多速起动器 .....	230	16.4 双电动机控制器 .....	251
14.8 转速监测 .....	230	16.5 中压控制器 .....	252
14.9 思考题 .....	232	16.6 固态电动机控制器 .....	257
第 15 章 电动机控制与保护 .....	233	16.6.1 模块 .....	257
15.1 学习目标 .....	233	16.6.2 固态控制器的优势 .....	258
15.2 电动机控制 .....	233	16.7 电动机控制中心 .....	258
15.3 手动起动 .....	234	16.8 思考题 .....	258
15.4 固态电动机控制器 .....	235	第 17 章 驱动器 .....	259
15.5 顺序控制 .....	236	17.1 学习目标 .....	259
15.6 起动某一电动机需要其他电动机		17.2 风扇、鼓风机与水泵 .....	259
运行 .....	236	17.3 调速驱动器 .....	260
15.7 点动 .....	238	17.4 交流变频驱动器 .....	260
15.8 反接制动 .....	239	17.5 电流源逆变器 .....	260
15.8.1 电动机任意方向的反接制动 .....	239	17.6 调压逆变器 .....	261
15.8.2 防止反接制动 .....	241	17.7 脉宽调制逆变器 .....	261
15.9 制动 .....	241	17.8 涡流驱动器 .....	262
15.9.1 电动机电子制动 .....	241	17.9 变距驱动器 .....	263
15.9.2 机械制动 .....	242	17.10 绕线式交流电动机驱动器 .....	263
15.9.3 推杆制动器 .....	242	17.11 直流驱动器 .....	264
15.9.4 电磁式制动器 .....	243	17.12 调速驱动器 .....	264
15.9.5 液压式制动器 .....	243	17.13 开环控制 (传统方法) .....	264
15.10 电动机保护 .....	243	17.14 闭环控制 .....	265
15.10.1 喘振保护和逆转保护 .....	243	17.15 直流驱动器的优缺点 .....	266
15.10.2 过载保护 .....	244	17.16 直流驱动器与系统 .....	266
15.10.3 过载继电器自动复位 .....	244	17.17 固态数字交流驱动器 .....	267
15.10.4 反时限电流继电器 .....	245	17.18 思考题 .....	268
15.10.5 固态线电压与线电流监测		第 18 章 变压器 .....	269
继电器 .....	245	18.1 学习目标 .....	269
15.10.6 可编程电动机保护 .....	246	18.2 变压器 .....	269
15.10.7 保护模块 .....	246	18.3 铁心变压器 .....	270
15.10.8 远程温度探测器模块 .....	246	18.4 自耦变压器 .....	270
15.11 思考题 .....	247	18.5 变压器损耗 .....	271



20.4 系统分析 .....	317	21.7.10 可编程序控制器的未来 .....	343
20.4.1 短路电流 .....	317	21.8 思考题 .....	343
20.4.2 故障电流 .....	317	<b>第 22 章 机器人与机器人学</b> .....	345
20.4.3 三相电源 .....	318	22.1 机器人系统 .....	345
20.5 功率测量 .....	319	22.2 机器人的历史 .....	346
20.6 变压器 .....	319	22.3 机器人分类 .....	346
20.6.1 变压器结构 .....	319	22.3.1 探索者机器人 .....	346
20.6.2 三相变压器的连接 .....	321	22.3.2 课堂机器人 .....	347
20.7 开关 .....	325	22.3.3 娱乐机器人 .....	347
20.7.1 自动应急电源开关 .....	325	22.4 作业区域 .....	347
20.7.2 开关柜 .....	327	22.5 机器人的运动能力 .....	347
20.7.3 配电盘 .....	328	22.6 四类机械臂系统 .....	349
20.7.4 电缆管道 .....	329	22.7 机器人的驱动系统 .....	350
20.7.5 铝合金墙内电缆管道和地板 电缆管道 .....	329	22.8 终端执行器 .....	352
20.7.6 电缆桥架 .....	329	22.9 限位开关 .....	355
20.8 思考题 .....	331	22.10 传感器 .....	355
20.9 练习题 .....	331	22.11 发光二极管 .....	355
<b>第 21 章 可编程序控制器</b> .....	333	22.12 接近传感器 .....	356
21.1 学习目标 .....	333	22.13 机器人动力 .....	358
21.2 固态电子学 .....	333	22.14 电动机 .....	358
21.3 可编程序控制器 .....	334	22.15 伺服控制机器人 .....	360
21.3.1 输入 - 输出 .....	334	22.16 执行器 .....	360
21.3.2 接口技术 .....	334	22.17 控制器 .....	361
21.3.3 ASCII 码 .....	335	22.17.1 基于微型处理器的控制器 .....	361
21.3.4 并行接口 .....	336	22.17.2 示教器 .....	362
21.3.5 串行接口 .....	336	22.17.3 计算机编程控制机器人 .....	363
21.4 环境影响性能 .....	336	22.17.4 软件与计算机代码 .....	363
21.5 电气噪声 .....	336	22.18 传感器输入 .....	364
21.5.1 安装 .....	337	22.19 视觉系统 .....	364
21.5.2 接地 .....	337	22.20 零件加工 .....	364
21.6 固态元件的可靠性 .....	337	22.21 路径跟踪 .....	365
21.7 控制器 .....	338	22.22 计算机集成制造 .....	365
21.7.1 系统硬件与编程设备 .....	338	22.23 思考题 .....	366
21.7.2 处理器 .....	339	<b>第 23 章 故障排除与维修</b> .....	367
21.7.3 输入 - 输出模块 .....	339	23.1 学习目标 .....	367
21.7.4 智能 I/O 模块 .....	340	23.2 检修与电工 .....	367
21.7.5 显示系统 .....	340	23.3 预防性维修 .....	367
21.7.6 单元控制器 .....	341	23.3.1 潮湿区域 .....	367
21.7.7 微型单元控制器 .....	341	23.3.2 避免意外电击 .....	368
21.7.8 局域网 .....	341	23.3.3 接地故障插座 .....	369
21.7.9 低压电动机控制中心 .....	342	23.3.4 布线装置 .....	370
		23.4 小型电动机的维修 .....	370



23.4.1 恰当的导线规格 ..... 370

23.4.2 检查内部开关 ..... 370

23.4.3 检查负载情况 ..... 370

23.4.4 特别关注润滑油 ..... 370

23.4.5 保持换向器清洁 ..... 371

23.4.6 电动机运行额定值 ..... 371

23.4.7 更换磨损电刷 ..... 371

23.5 电动机故障 ..... 371

23.5.1 滚珠轴承电动机 ..... 371

23.5.2 套筒轴承电动机 ..... 371

23.6 常见电动机故障及起因 ..... 372

23.6.1 故障诊断 ..... 373

23.6.2 离心开关 ..... 373

23.6.3 换向器型电动机 ..... 373

23.7 故障排除手段 ..... 373

23.7.1 接线图 ..... 373

23.7.2 小型三相电动机额定数据 ..... 375

23.8 电源扰动 ..... 377

23.8.1 电压波动 ..... 377

23.8.2 电压瞬变 ..... 378

23.8.3 电力中断 ..... 378

23.8.4 查找短路点 ..... 378

23.9 笼型电动机 ..... 379

23.10 检测单相电动机的离心开关 ..... 379

23.11 检测运行绕组与起动绕组间的  
短路 ..... 379

23.12 检测电容 ..... 380

23.13 利用测量仪表检查故障 ..... 380

23.13.1 利用电压表检修电动机 ..... 381

23.13.2 钳式电压电流表 ..... 381

23.13.3 查找接地点 ..... 381

23.13.4 查找开路点 ..... 382

23.14 故障排除指南 ..... 383

23.15 电动机寿命 ..... 386

23.15.1 通风设备 ..... 387

23.15.2 环境温度 ..... 387

23.16 运行特性 ..... 387

23.17 电动机保护 ..... 388

23.18 直流电动机故障 ..... 389

23.19 固态装置检修 ..... 392

23.20 思考题 ..... 393

第 24 章 电力相关职业 ..... 394

24.1 学习目标 ..... 394

24.2 雇用电工的行业 ..... 394

24.3 电力相关职业 ..... 395

24.3.1 电气工程师 ..... 395

24.3.2 建筑电工 ..... 396

24.3.3 维修电工 ..... 396

24.3.4 弱电电工 ..... 396

24.4 通用信息 ..... 397

24.5 开始你自己的生意 ..... 398

24.6 领导能力的发展 ..... 399

24.6.1 电工的就业情况 ..... 399

24.6.2 收入 ..... 399

24.6.3 相关职业 ..... 399

24.7 发展前景 ..... 400

附录 ..... 401

附录 A 直流电动机故障表 ..... 401

附录 B 绕线式电动机故障表 ..... 402

附录 C 小功率电动机故障表 ..... 403

附录 D 用于电动机运行过载保护的  
双元件熔断器的选择 ..... 408

术语表 ..... 410

思考题与练习题答案 ..... 415



# 绪 论

## 1.1 学习目标

- 通过学习本章，你将能够：
- 1. 什么是电以及电流是如何定义的？
  - 2. 产生电的 7 种方法。
  - 3. 确定电阻的 4 个因素及各种电路类型。
  - 4. 欧姆定律。
  - 5. 电流测量的不同方法，认识用于控制电流的开关。
  - 6. 认识电阻器的色标码。

## 1.2 什么是电

虽然你看不到电，但它无时不在，在很多方面都有它的应用。尽管你嗅不到电的气味，但你却能感受到它的存在，例如，你可以品尝到使用电能烹制的食物，你也可以闻到闪电穿过后清新空气。

电的基本形式有两种：一种是由静止不动的电荷形成的静电，另一种则是由流动电荷形成的电流。本书主要讨论电流，因为它的使用范围非常广。电流可以简单地定义为导体中流动电子的运动。为了理解这个定义，你必须知道一些有关化学元素和原子方面的知识。

## 1.3 元素与原子

元素是一种构成宇宙中所有物质的最基本实体，自然界中发现了 94 种元素。如铁、铜和氮，另有 11 种元素是科学家在实验室中得到的。众所周知的固体、液体或气体物质就是由这些元素组成的。

单一物质很少是由一种元素组成的。一种叫化合物的物质中几乎总是存在多种元素，如常见的水就是一种化合物，它不是由一种元素而是由两种元素组成的，如图 I-1 所示。

原子是元素的最小粒子，它具有元素的所有属性。每个元素都拥有自己的原子结构。也就是说，所有氢原子的结构是相同的，同时氢原子的结构不同于其他元素的原子结构。然而，所有原子又具有共性，即原子是由内在原子核与核外电子两种微小粒子组成的。原子核由质子和中子组成，核外电子则按其轨道围绕在原子核周围，如图 I-2 和图 I-3 所示。

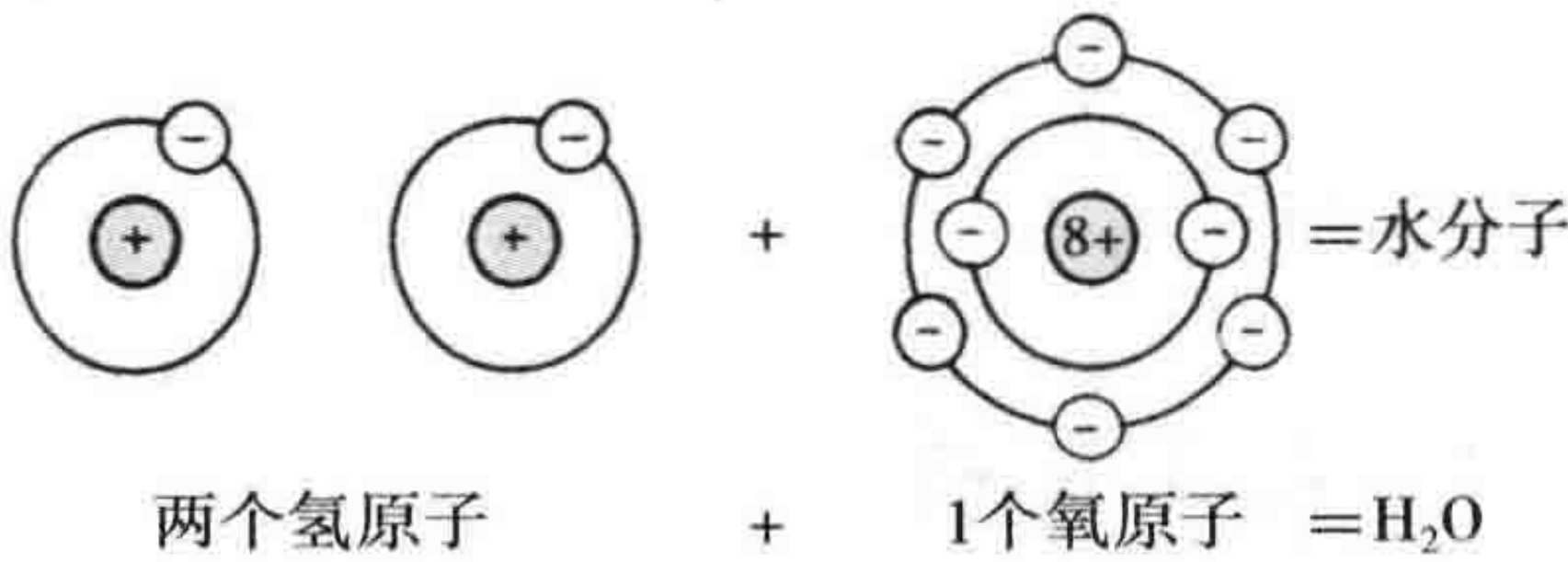


图 I-1 两个及两个以上原子组成的分子，水分子由两个氢原子和 1 个氧原子组成



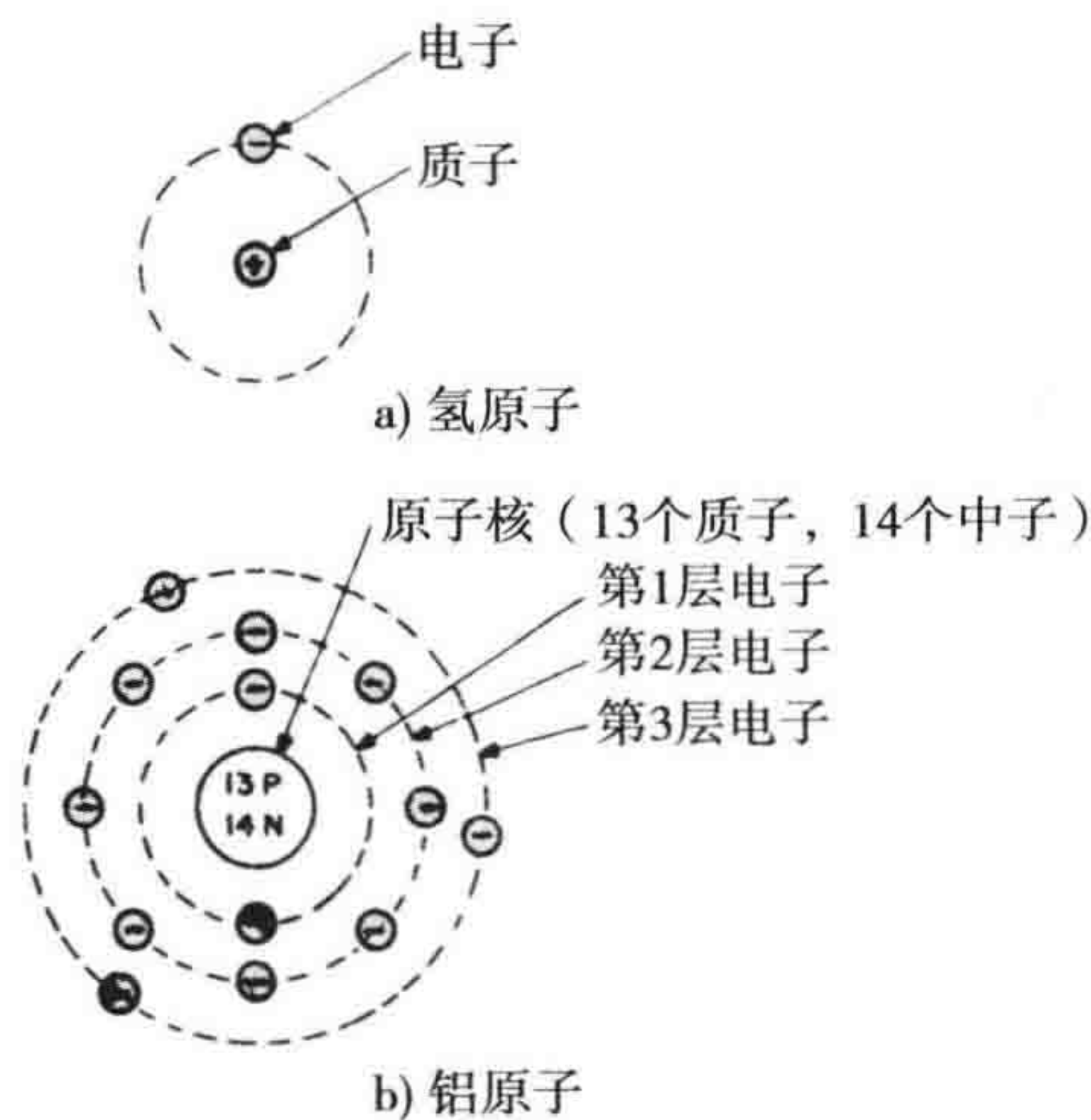


图 1-2 原子结构：原子由质子、中子和电子组成

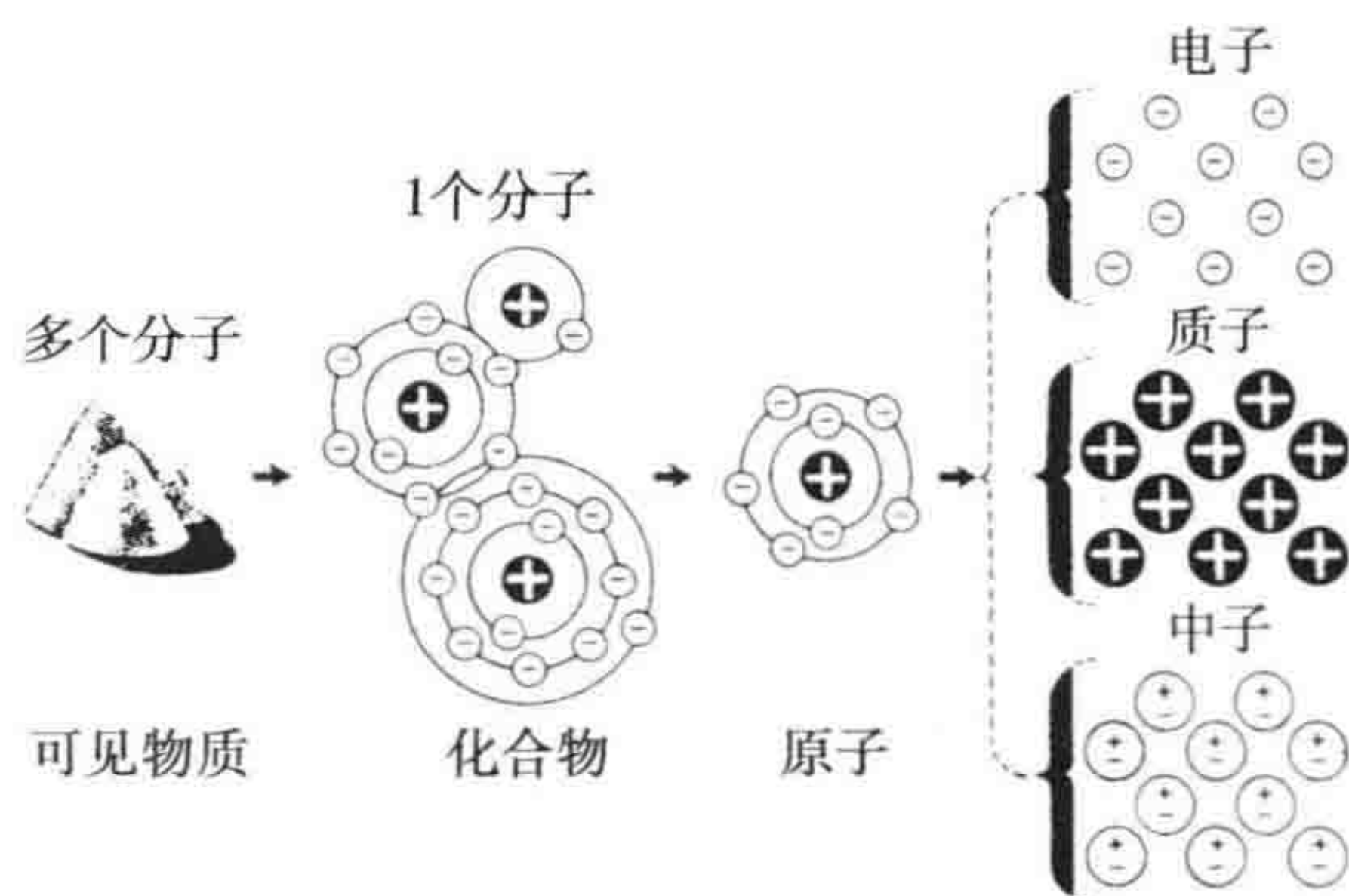


图 1-3 分子结构

中子不带电荷，质子带正电荷，电子带负电荷。由于这些电荷的存在，使质子和电子成为具有能量的粒子，也就是说，这些电荷在原子内部存在一个电场。简单地说，这些电荷在相互吸引力和排斥力的作用下，使得能量以动能的形式存在。

每种元素的原子都有一定数目的电子和质子，例如，1 个氢原子有 1 个电子和 1 个质子，1 个铝原子有 13 个电子和 13 个质子。带负电荷的电子和带正电荷的质子相互吸引，质子使电子在一个环绕原子核的轨道上运动。只要这种结构不变，那么原子就是稳定的。

然而，一些原子的电子很容易脱离其运动轨道，成为不被束缚的电子，这些电子的移动能力或流动能力是形成电流的基础。

1.3.1 自由电子

一些材料受热后其原子会失去一些电子。另一些材料（如铜），在室温条件下电子就很容易逃离原子的束缚自由移动。当电子离开它们的轨道后，它们就可以从一个原子自由移动到另一个原子，毫无方向地游动。以这种方式移动的电子称为自由电子。然而，如果对这些自由电子施加一个力，就可使其沿某路径移动。

1.3.2 电流

如果自由电子是在一个给定的方向上运动的，也就产生了电子的流动——通常称为电流，因此，电子的移动与电流有关。

1.3.3 能量

电子的直径约为  $2.2 \times 10^{-13}$  in (1 in = 0.025 4m)，小得令人难以置信。你会质疑如此小的粒子怎么会是能量的来源。许多答案源于这样的事实，即电子的运动速度接近于光速以及数十亿的电子能瞬间穿过一根导线。因此，运动速度如此之快和密度如此之高的电子便产生了巨大的能量。

1.4 电工材料

1.4.1 导体

导体是一种导电的材料，其内部有电子移动。事实上，所有的金属和大多数非金属材料



在一定程度上都是导体，只不过一些材料要比另外一些材料导电性能好，因此，术语“导体”通常是指电子能在其中自由移动的材料。

决定某种材料比另一种材料导电性好的因素是什么呢？一个有许多自由电子的材料往往是好的导体。然而，实际上，当我们选择某种材料作为导体时需要多方面的考虑，例如，金、银、铝和铜都是良好的导体，但是，金和银的成本限制了它们的使用，而由于铜无论是在炎热的天气还是寒冷的天气都具有良好的强度，所以在很多应用上优于铝。

1.4.2 绝缘体

绝缘体是一种阻碍电子流动的物质，此类材料的自由电子数量非常有限，因此，借助自由电子的运动可将材料分为导体或绝缘体。没有哪一种材料被视为一个完美的绝缘体，也就是说，不存在完全没有自由电子的材料。然而，在实际应用中，一些不良导体往往被归入绝缘体类别中。

图 I-4 所示的木材、玻璃、云母和聚苯乙烯都是绝缘体，它们在不同程度上都阻碍着电子的运动。如图 I-4 所示，相应材料的图线高度越高，表示其绝缘品质越好。

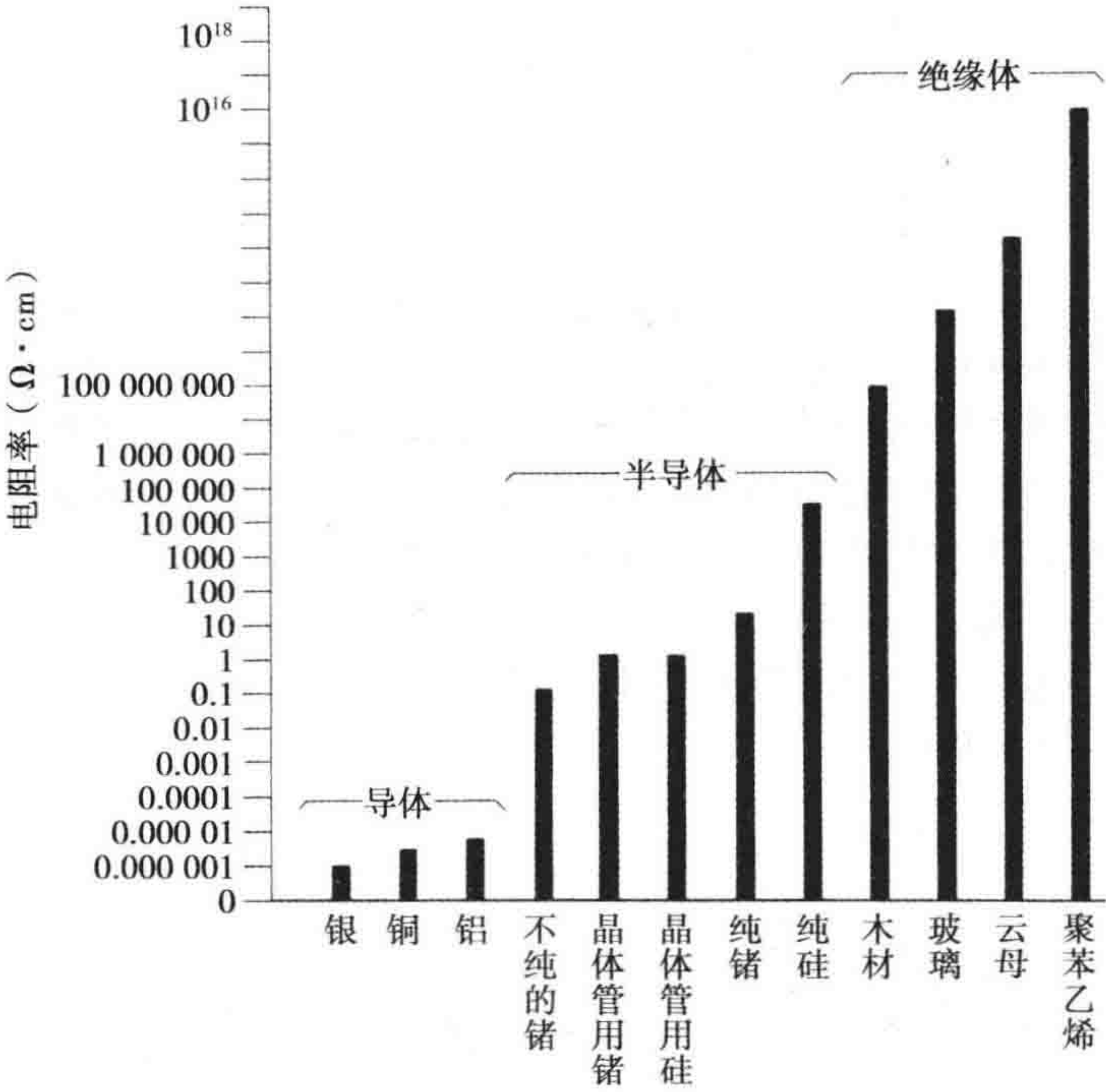


图 I-4 各种材料的电阻率

1.4.3 半导体

在涉及晶体管和二极管时，你应该听说过“半导体”这个词。生产晶体管和二极管所用材料的导电性介于良好的导体和良好的绝缘体之间。因此，将这类材料命名为半导体。锗和硅是两种最为常见的半导体材料，通过加入少量的其他元素，几乎可以使这些纯度高达 99.999 999% 的元素成为有限的导体。然而，半导体的制造是一个迷人的过程，这需要花费很长时间才能描述清楚。你可以借助互联网或从图书馆查阅书籍自行研究这个主题。



1.5 发电

发电的方法有许多种。记住，电是电子沿着导体流动而形成的。摩擦力、压力、热、光、化学反应和磁力是用于使电子沿着导体移动的更为实际的方法。出于一些特殊目的，还有另外一些发电方法，例如，为太空计划开发的电池称为“特种电池”。

- **摩擦** 当两种材料相互摩擦时也可能会产生电。例如，鞋子相对地毯的运动会引起静电。静电的实际应用如在砂纸生产和空气净化中可以见到（见图 I-5）。

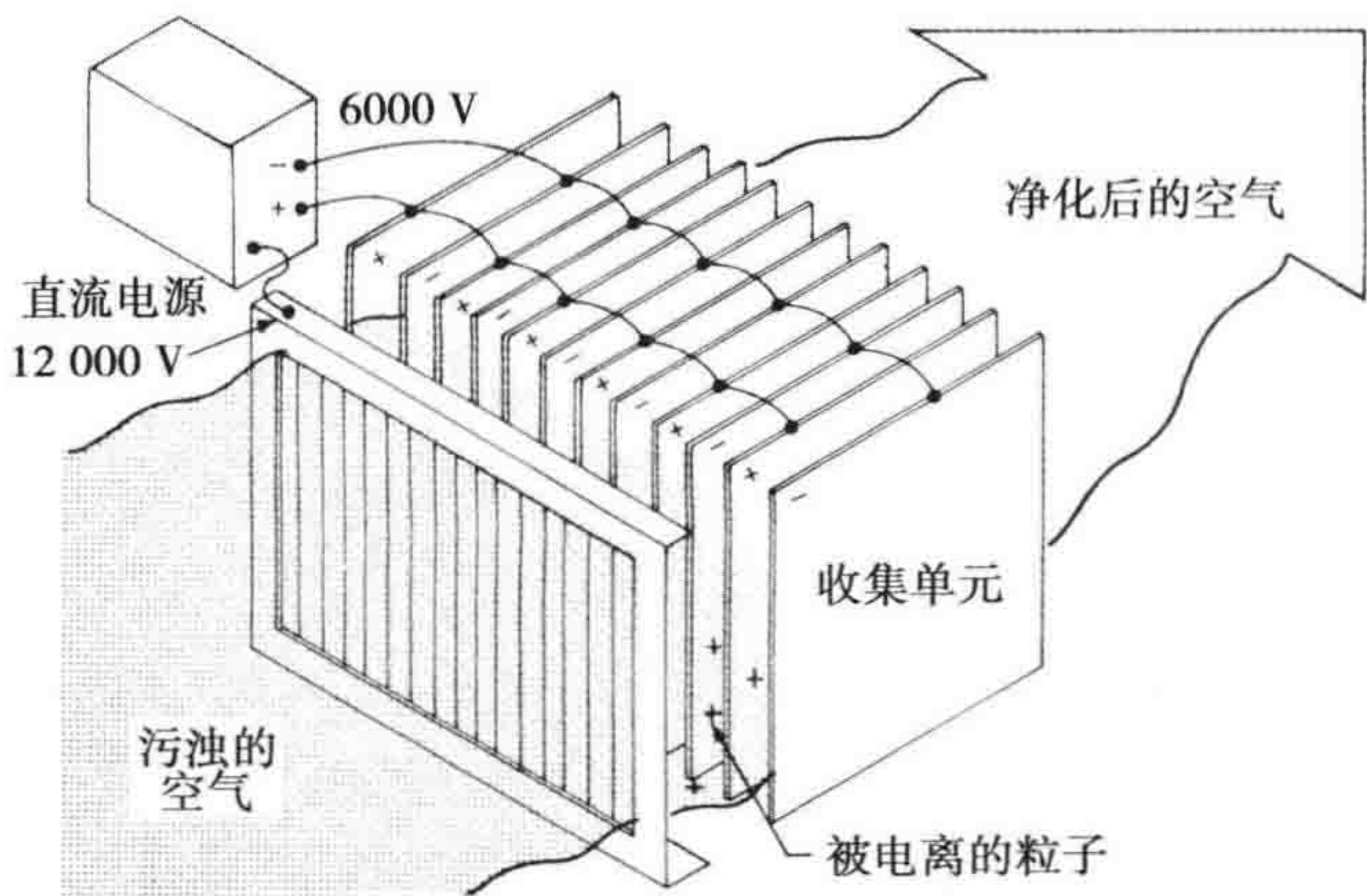


图 I-5 静电除尘器的工作原理

静电除尘器通过在带电极板上收集被电离的粒子可以实现两阶段净化空气。使用 12 000V 直流电源电离钨线网，然后所有粒子带有正电荷 (+)，这些带正电荷的粒子被吸附到具有 6000V 电压且带有负电荷的极板上。这个带负电荷的极板就是收集单元。净化后的空气从除尘器中排出

- **压力** 当压力作用于特定的晶体（也就是通常所说的罗谢尔盐或石英）时就会产生电。晶体传声器就是利用石英的这个特殊属性（如图 I-6 所示）而制造的。在这里，弯曲的晶体产生一个小的电信号输出，这个现象称为压电效应。因此，通过放大所产生的小的电信号可以驱动扬声器。事实上，晶体拾音器已经用于便宜的电唱机上以及一些工业应用中了。

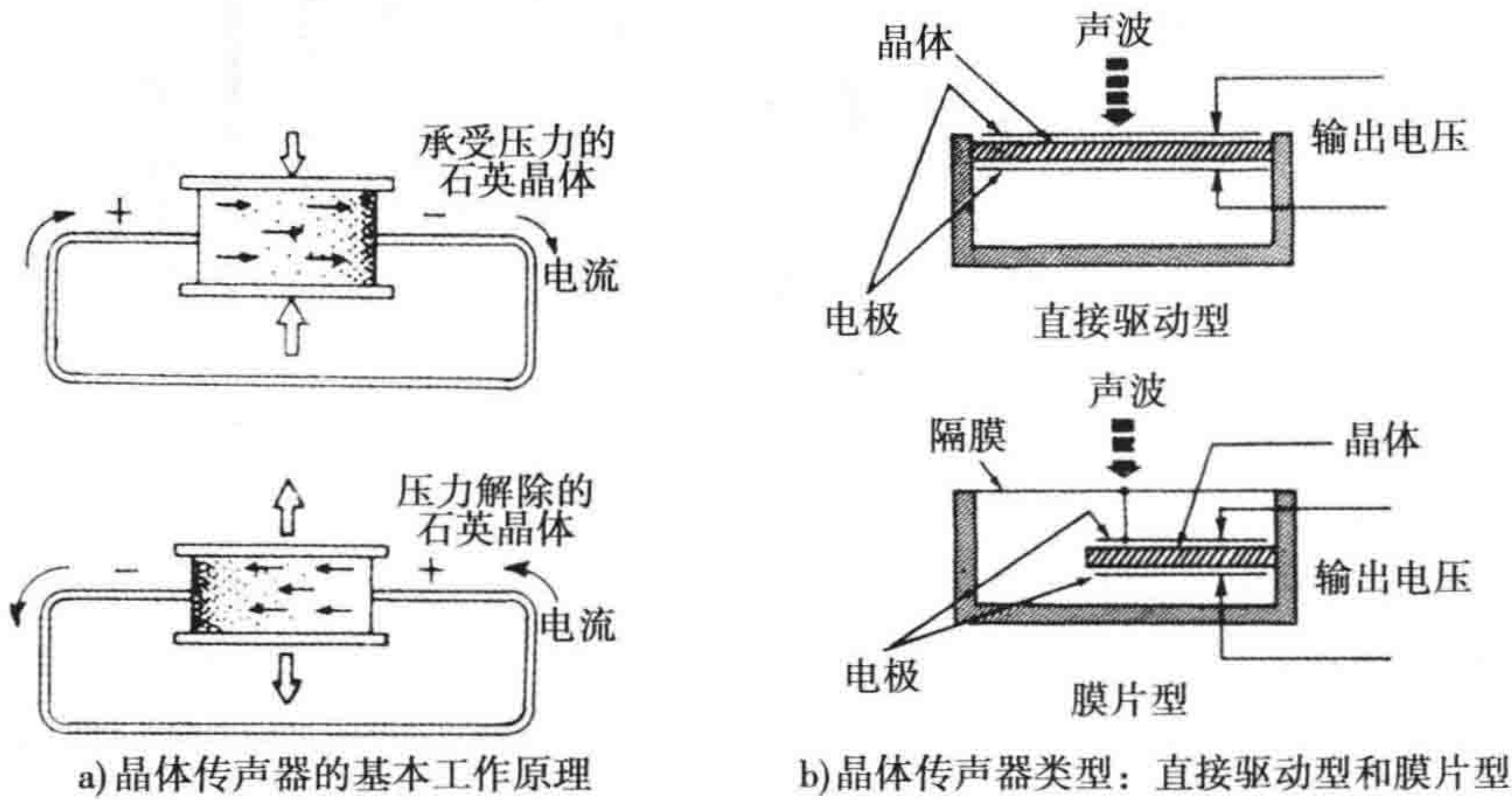


图 I-6 晶体传声器

- **热** 当热作用于两种不同金属之间的结合处时，就会产生电。这个结合处通常称为热电偶，在工业应用中，热电偶通常用于测量温度，它常用于测量陶瓷窑炉工作温



度 (见图 I-7)。

- **光** 当光照射光敏材料时, 就会产生电。光电池可以用在照相机、航天器和收音机中, 如图 I-8 所示。

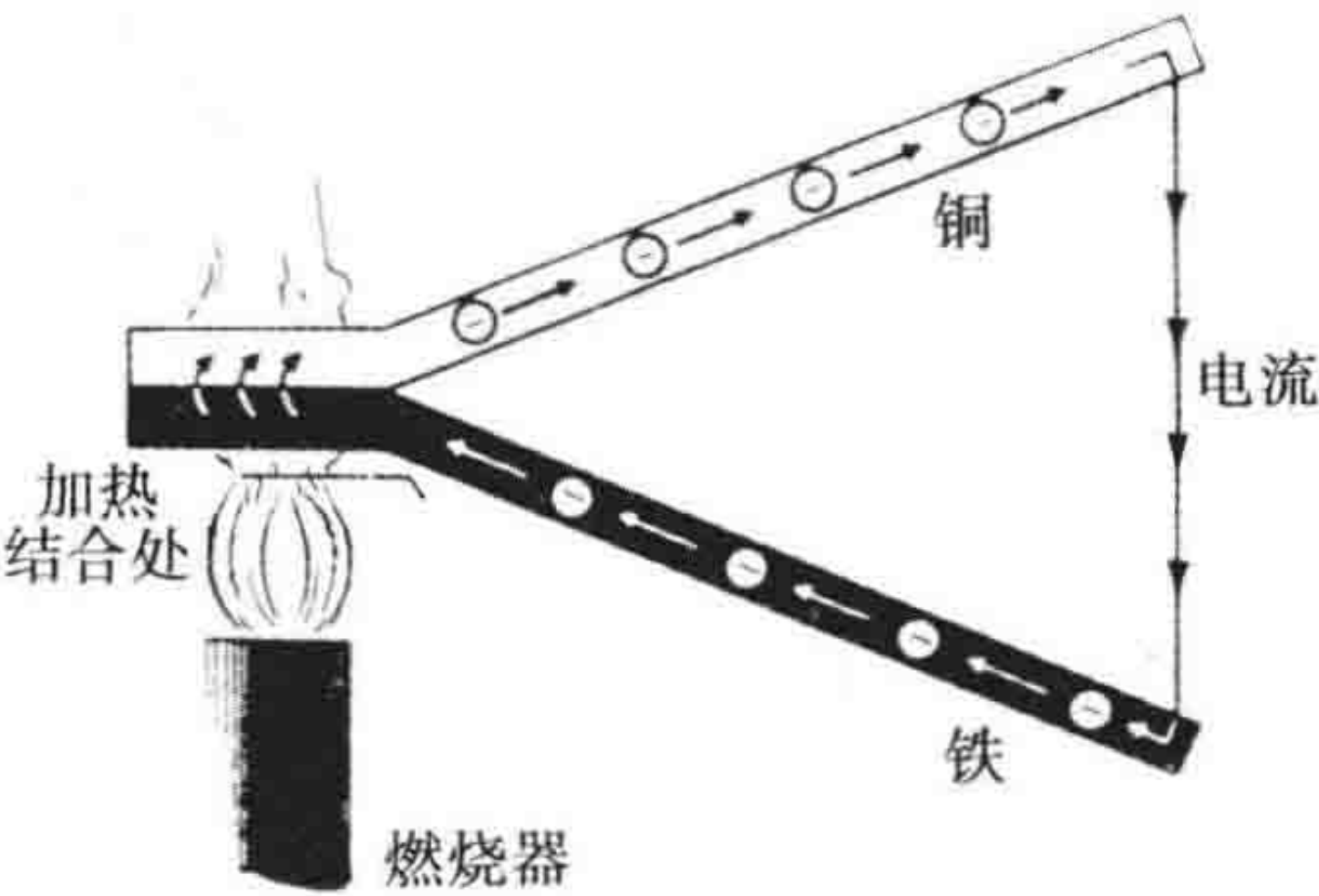


图 I-7 热电偶

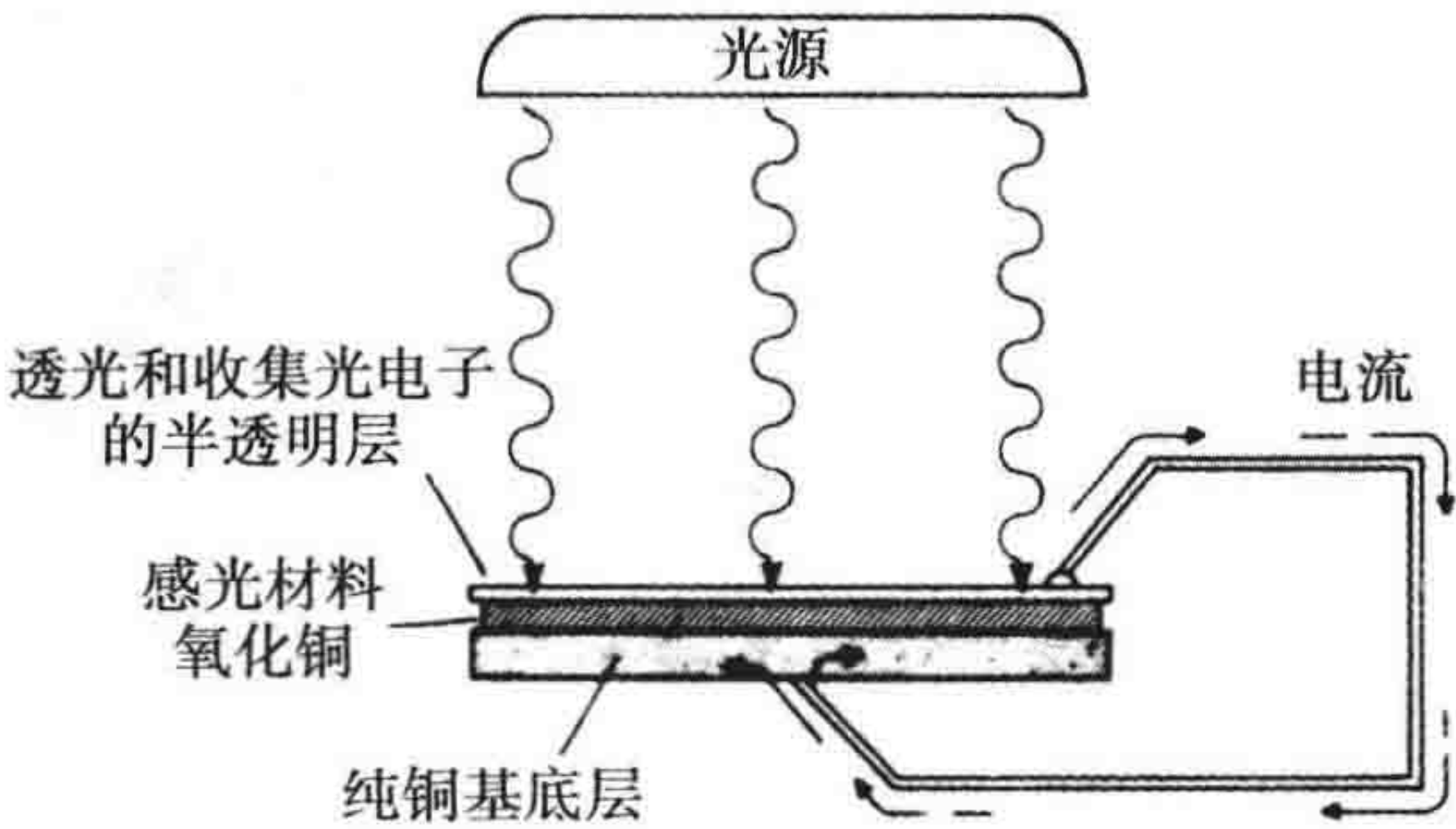
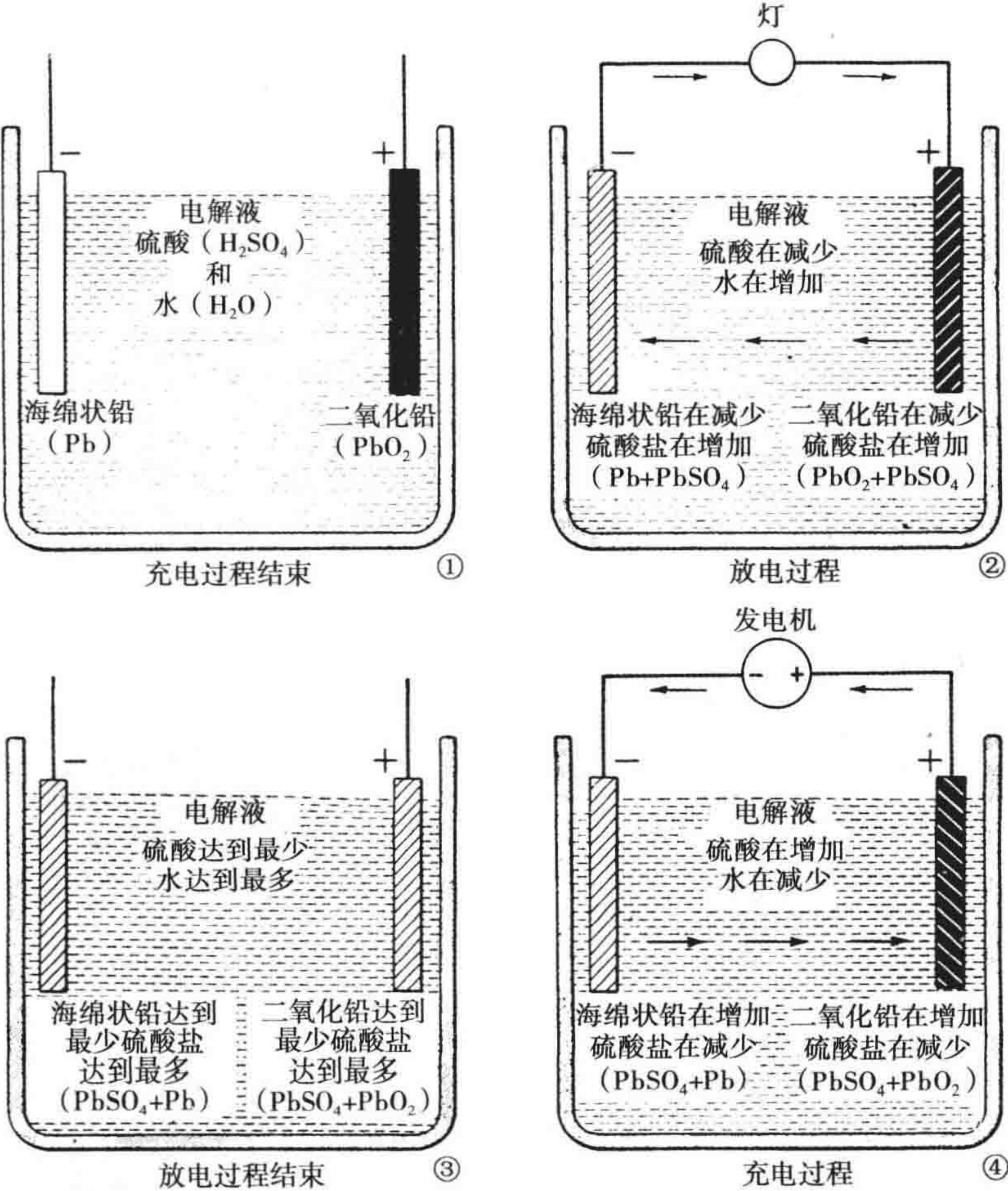


图 I-8 光电池

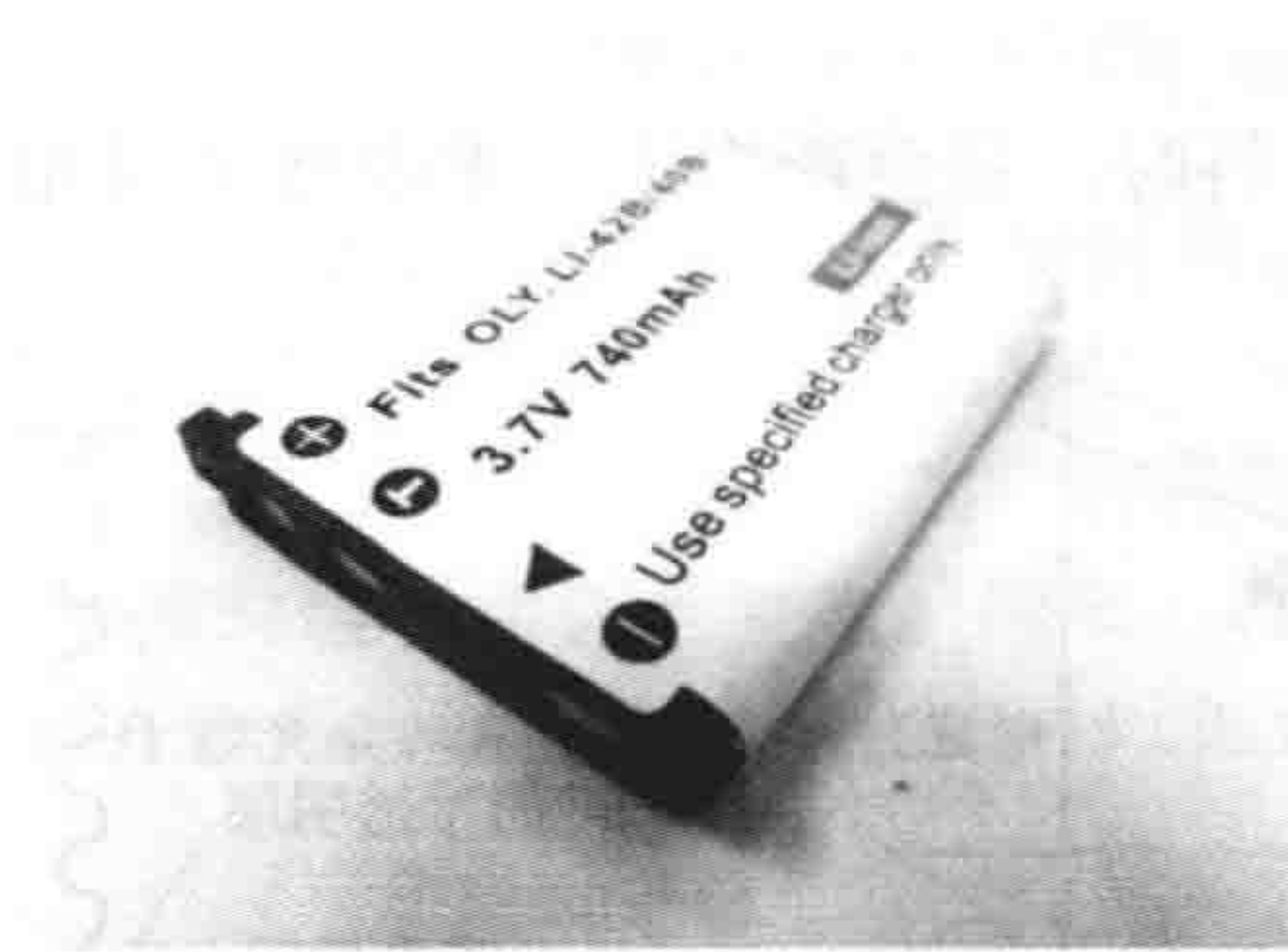
- **化学反应** 当在一个电池的两种金属之间发生化学反应时, 就会产生电。一个单元称为一节电池。两节或两节以上的电池连接在一起构成一个电池组。电池可以用在手电筒、收音机、助听器、玩具、照相机和计算器中。汽车蓄电池是由铅酸电池组合而成的, 如今, 没有电池就不能发动汽车。目前有许多类型的电池, 图 I-9 所示是其中几种。



a) 蓄电池可以反复充放电, 图中显示了充电和放电过程

图 I-9 电池类型





b) 3.7V和7.4V锂电池经常用于手机和数码照相机中（Altus产品）

图 I-9 （续）

- **锂电池** 锂电池的种类很多，在手表、电池供电的手电钻和其他工具中都可以见到它。锂电池可充电，在便携式计算机和其他电子设备中它得到了广泛应用。锂电池可以制造得足够小以装进助听器中，也可以制造得足够大以驱动汽车。

锂电池家族包括以下几种：

- ◆ 磷酸铁锂
- ◆ 锰酸锂
- ◆ 锂镍钴锰氧化物
- ◆ 钴酸锂

锂电池或电池单元通过非水电解质和分离器隔膜从负极到正极运载电流。石墨是最常用的负极材料，正极是下列材料之一：

- ◆ 钴酸锂
- ◆ 磷酸铁锂
- ◆ 锰酸锂

电解液通常是混合的有机碳酸盐，比如碳酸亚乙酯或碳酸二乙酯等锂离子的复合物。锂电池比镍镉电池具有更高的能量密度，所以体积更小、重量更轻。锂电池可以在一个更宽泛的温度范围内运行并保持较高的输出。

图 I-9b 中显示的扁平的 3.7V 电池可用在小型相机和移动电话中，一个更大的电池可用在电池驱动的螺丝刀、绿篱剪边器以及各种需要轻便电源的设备中。便携式计算机很好地利用了锂电池。

- **磁体** 当一个磁体移动经过一段导线或一段导线移动穿过一个磁场时，电就产生了。两种方法产生的结果是相同的，运动、磁场和一段导线是产生电所必需的。迄今为止，磁是产生电最便宜的方式。我们使用磁体为房屋和汽车发电。每个汽车的引擎盖下边都有一台发电机，这个装置能够产生大量电能。这个发电机为交流发电机，因为它产生交流电（AC）。交流电流首先向一个方向流动，然后向另一个方向流动。直流电流只向一个方向流动（见图 I-10）。

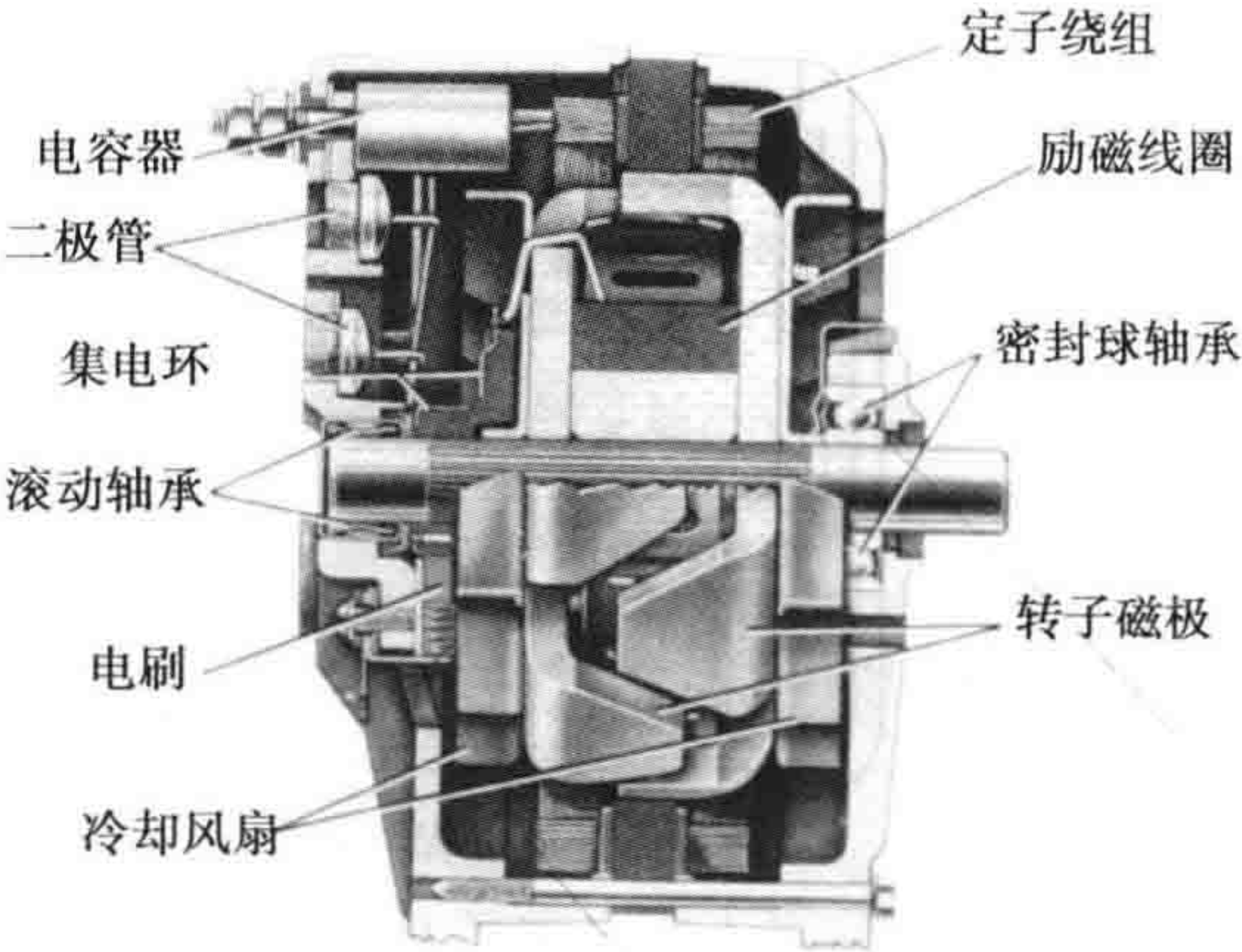


图 I-10 用在汽车中的交流发电机



- **特种发电机** 燃料电池是最新发展的一种生产电的形式。氧浓差电池内部包括电解质，电解质以氧离子的形式传导电荷，但是对电子却是绝缘的。电解质位于两个电极之间（电解质是湿的，电极通常是金属棒或金属板），通过引导不同浓度的氧离子经过电极，就能够产生电。

氢氧电池可产生水和电。宇宙航行中曾使用这种电池为一个很小的空间提供饮用水和电力。其他特种电池（还没有全部完善的）包括氧化还原燃料电池、碳氢化合物燃料电池、离子交换膜和磁流体（MHD）发电机（见图 I-11）。在磁流体发电机中，热等离子体在燃烧器中生成和发射，类似于火箭发动机，然后热等离子体垂直穿过一个磁场，经过暴露在气体流中的电极，气体中的电子被磁场偏转，它们在与其它粒子互相碰撞之中到达一个电极，当电子从负极流出经过负载到达正极并返回气体流时，电就产生了。还有数以千计的其他产生电的方法。

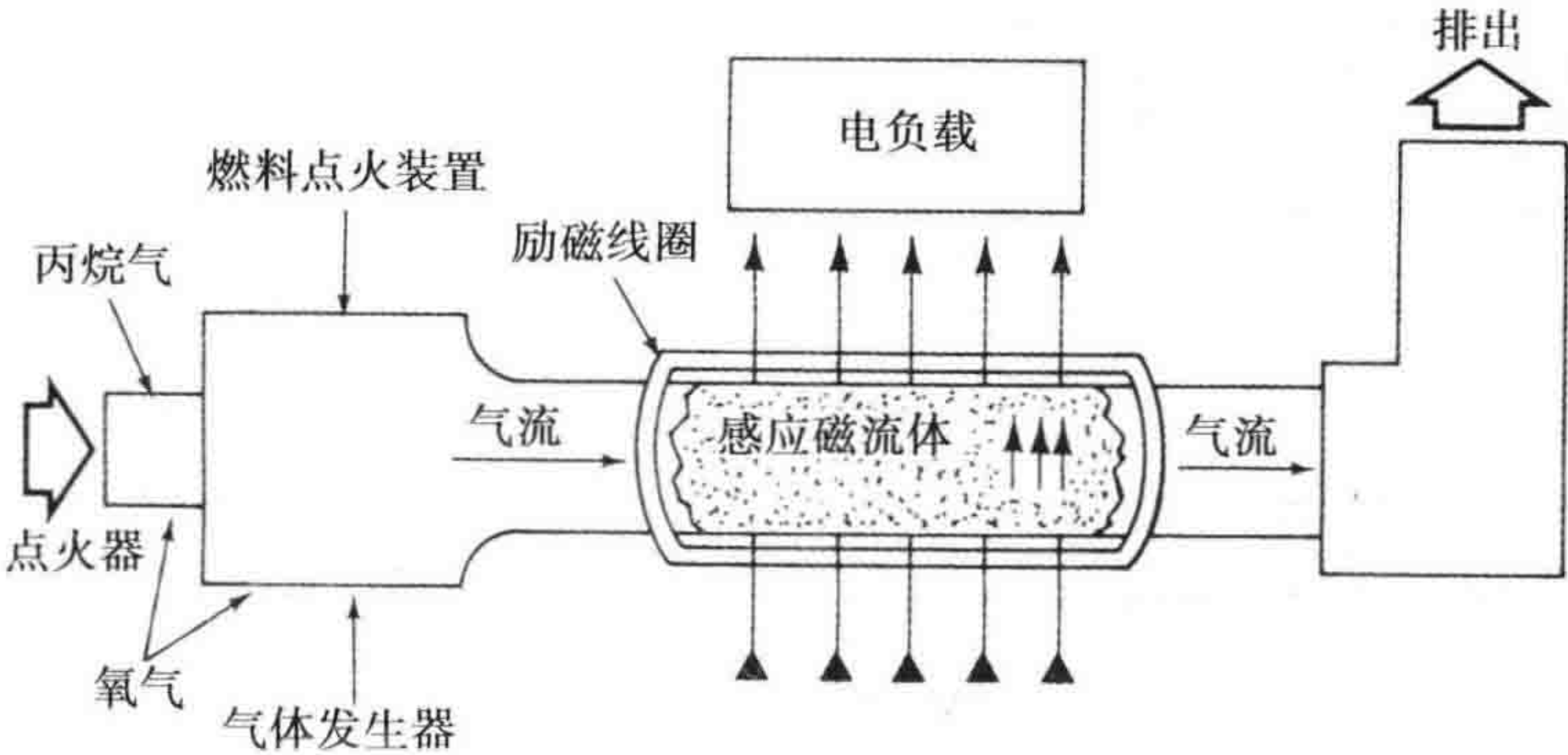


图 I-11 特种电源——MHD 发电机

1.6 电压与电流

到目前为止，你已经知道了什么是电，已经学习了一些产生电的方式。现在是学习如何度量电能的时间了。最常用的电压的度量单位是伏特（V），电流的度量单位是安培（A）。

- **伏特** 我们测量电池的两个极板之间的电势差，并以伏特表示，实际上是电路中施加到电子上的电压（电路是电子移动的路径）。一个外力施加到电子上使其流过导体，称为电动势（EMF），以伏特来表示。电压、电位差和电势差意味着同样的事情。术语“电压降”和“电位降”可以互换。
- **电流** 要使电子在一个特定的方向上移动，在电源的两极之间必须有一个电位差。如果有  $6.28 \times 10^{18}$  个电子在 1s 内通过一个给定的点，也就意味着一个 1A 的电流通过这个点。相同数量的电子存储在一个对象上（静电荷）而不移动称为 1 库仑（单位符号 C）。电流假定是从电池或发电机的负极流向正极的。

电流以安培来度量，电子学中，有时需要使用较小的度量单位。毫安（mA）表示 0.001A。如果需要一个更小的单位，通常用微安（ $\mu$ A）来表示，微安代表 0.000 001 A。希腊字母  $\mu$  用来表示微（表 I-A 列出了希腊字母和它们代表的含义）。

表 I-A 希腊字母表

	大写字母	小写字母	代表的含义
alpha	A	$\alpha$	角度、面积、系数和衰减常数
beta	B	$\beta$	角度和系数



(续)

	大写字母	小写字母	代表的含义
gamma	Γ	γ	电导率和传播常数
delta	Δ	δ	角度、增量、减量和决定因素
epsilon	E	ε	介电常数、介电系数和自然对数的底
zeta	Z	ζ	坐标
eta	H	η	效率、滞后性和坐标
theta	Θ	θ 或 θ	角和角度的相位差
iota	I	ι	耦合系数
kappa	K	κ	
lambda	Λ	λ	波长
mu	M	μ	磁导率、放大系数和单位前缀微 (10 <sup>-6</sup> )
nu	N	ν	
xi	Ξ	ξ	
omicron	O	ο	
pi	Π	π	圆周率
rho	P	ρ	密度和体电荷密度
sigma	Σ	σ 或 ς	求和
tau	T	τ	时间常数和相位位移
upsilon	Υ	υ	
phi	Φ	φ 或 φ	磁通和角度
chi	X	χ	角度
psi	Ψ	ψ	电通量
omega	Ω	ω	欧姆和角速度

电压表是用来测量电压的，电流表是用来测量电流的。微安计或毫安计可以用来测量更小单位的电流。

1.6.1 电阻

电子沿着导体运动会遇到一些阻碍，这个阻碍就是电阻。电阻在电气和电子产品中应用非常广泛。电阻可以产生热量，控制电子流动，为设备提供恰当的电压。

导体的电阻值取决于 4 个因素：材料、长度、横截面积和温度。

- **材料** 有些材料比其他材料具有更大的电阻值。电阻取决于材料中自由电子的数量。
- **长度** 导线或导体越长电阻值越大，电阻值的大小与导线的长度成正比。
- **横截面积** 电阻值与导体的横截面积成反比，换句话说，导线越粗，每英尺 (1ft=0.304 8m) 导线的电阻值越小。
- **温度** 对于大多数材料来说，温度越高，电阻值越大。然而，热敏电阻有些例外。热敏电阻的电阻值随温度的变化而变化，温度升高，电阻值减小。热敏电阻可用在仪表和温度指示中。



度量电阻的单位为欧姆，用希腊字母  $\Omega$  表示。

1.6.2 导线规格

当你熟悉了电和电路并且需要为一所房子或建筑物布线时，你更要了解导线的电流承载能力。导线的规格是以数字的形式表示的。这个尺寸通常范围从 0000（简称 4 个零）到 40 号。越粗的导线，数字越小。

例如，32 号导线比 14 号导线细。表 I-B 给出了电阻（ $\Omega/1000\text{ft}$ ）与横截面积之间的关系。注意在 77°F 和 149°F（25°C 和 65°C）时温度对电阻的影响。温度可以使长导线的电阻具有明显的差异。长导线在夏天会吸收热量膨胀变长。

表 I-B 标准实心退火铜线

		截面积		$\Omega/1000\text{ft}$			
导线规格	直径 /mil	圆 密耳	$\text{in}^2$	25°C (=77°F)	65°C (=149°F)	$\Omega/\text{mile}$ 25°C (=77°F)	lb/1000ft
0000	460.0	212 000.0	0.166	0.0500	0.0577	0.254	641.0
000	410.0	168 000.0	0.132	0.0630	0.0727	0.333	508.0
00	365.0	133 000.0	0.105	0.0795	0.0917	0.420	403.0
0	325.0	106 000.0	0.829	0.100	0.116	0.528	319.0
1	289.0	83 700.0	0.0657	0.126	0.146	0.665	253.0
2	258.0	66 400.0	0.0521	0.159	0.184	0.839	201.0
3	229.0	52 600.0	0.0413	0.201	0.232	1.061	159.0
4	204.0	41 700.0	0.0328	0.253	0.292	1.335	126.0
5	182.0	33 100.0	0.0260	0.403	0.369	1.685	100.0
6	162.0	26 300.0	0.0206	0.403	0.465	2.13	79.5
7	144.0	20 800.0	0.0164	0.508	0.586	2.68	63.0
8	128.0	16 500.0	0.0130	0.641	0.739	3.38	50.0
9	114.0	13 100.0	0.0103	0.808	0.932	4.27	39.6
10	102.0	10 400.0	0.008 15	1.02	1.18	5.38	31.4
11	91.0	8230.0	0.006 47	1.28	1.48	6.75	24.9
12	81.0	6530.0	0.005 13	1.62	1.87	8.55	19.8
13	72.0	5180.0	0.004 07	2.04	2.36	10.77	15.7
14	64.0	4110.0	0.003 23	2.58	2.97	13.62	12.4
15	57.0	3260.0	0.002 56	3.25	3.75	17.16	9.86
16	51.0	2580.0	0.002 03	4.09	4.73	21.6	7.82
17	45.0	2050.0	0.001 61	5.16	5.96	27.2	6.20
18	40.0	1620.0	0.001 28	6.51	7.51	34.4	4.92
19	36.0	1290.0	0.001 01	8.21	9.48	43.3	3.90



(续)

		截面积		$\Omega/1000\text{ft}$			
导线规格	直径 /mil	圆 密耳	$\text{in}^2$	25℃ (=77°F)	65℃ (=149°F)	$\Omega/\text{mile}$ 25℃ (=77°F)	lb/1000ft
20	32.0	1020.0	0.000 802	10.4	11.9	54.9	3.09
21	28.5	810.0	0.000 636	13.1	15.1	69.1	2.45
22	25.3	642.0	0.000 505	16.5	19.0	87.1	1.94
23	22.6	509.0	0.000 400	20.8	24.0	109.8	1.54
24	20.1	404.0	0.000 317	26.2	30.2	138.3	1.22
25	17.9	320.0	0.000 252	33.0	38.1	174.1	0.970
26	15.9	254.0	0.000 200	41.6	48.0	220.0	0.769
27	14.2	202.0	0.000 158	52.5	60.6	277.0	0.610
28	12.6	160.0	0.000 126	66.2	76.4	350.0	0.484
29	11.3	127.0	0.000 099 5	83.4	96.3	440.0	0.384
30	10.0	101.0	0.000 078 9	105.0	121.0	554.0	0.304
31	8.9	79.7	0.000 062 6	133.0	153.0	702.0	0.241
32	8.0	63.2	0.000 049 6	167.0	193.0	882.0	0.191
33	7.1	50.1	0.000 039 4	211.0	243.0	1114.0	0.152
34	6.3	39.8	0.000 031 2	266.0	307.0	1404.0	0.120
35	5.6	31.5	0.000 024 8	335.0	387.0	1769.0	0.0954
36	5.0	25.0	0.000 019 6	423.0	488.0	2230.0	0.0757
37	4.5	19.8	0.000 015 6	533.0	616.0	2810.0	0.0600
38	4.0	15.7	0.000 012 3	673.0	776.0	3550.0	0.0476
39	3.5	12.5	0.000 009 8	848.0	979.0	4480.0	0.0377
40	3.1	9.9	0.000 007 8	1070.0	1230.0	5650.0	0.0299

① 1 mil=0.001 in=2.54×10<sup>-5</sup> m；② 1 圆密耳=5.067×10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup>；③ 1 in<sup>2</sup>=6.451 6×10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>；④ 1 mile=1 609.344 m；⑤ 1 lb=0.453 592 37 kg；⑥ 1 ft=0.304 8 m。  
资料来源：美国电线计量——B&S。

1.6.3 铜导线与铝导线的对比

虽然银是最好的导体，因为成本太高，所以它的使用是有限的。铝和铜是两种常用的导体。它们各自都有优点和缺点。例如，铜具有高电导率和更好的延展性（可以拉得更细），具有较高的抗拉强度，焊接比较容易，但它比铝更昂贵。

铝的导电率大约只有铜的 60%。它被用在高压输电线路中，有时也用在家居布线中。近些年铝的使用在增加。然而，现在许多电工不再把铝用于房屋布线中。这有很多原因，这些原因将随着本书的进展而变得明显。

如果铜和铝绞在一起，比如在接线螺母中，水分会在一段时间内进入裸露的金属中，



这就会发生腐蚀，从而形成高电阻的接头，这可能会导致灯的光线变暗或者电动机发生故障。

1.6.4 电路

- **闭合电路** 闭合电路中必须有控制流或沿着导体运动的电子（如图 I-12a 所示）。闭合电路是由电源、导体和耗电设备组成的。电流通过耗电设备会产生热量、光或做功。

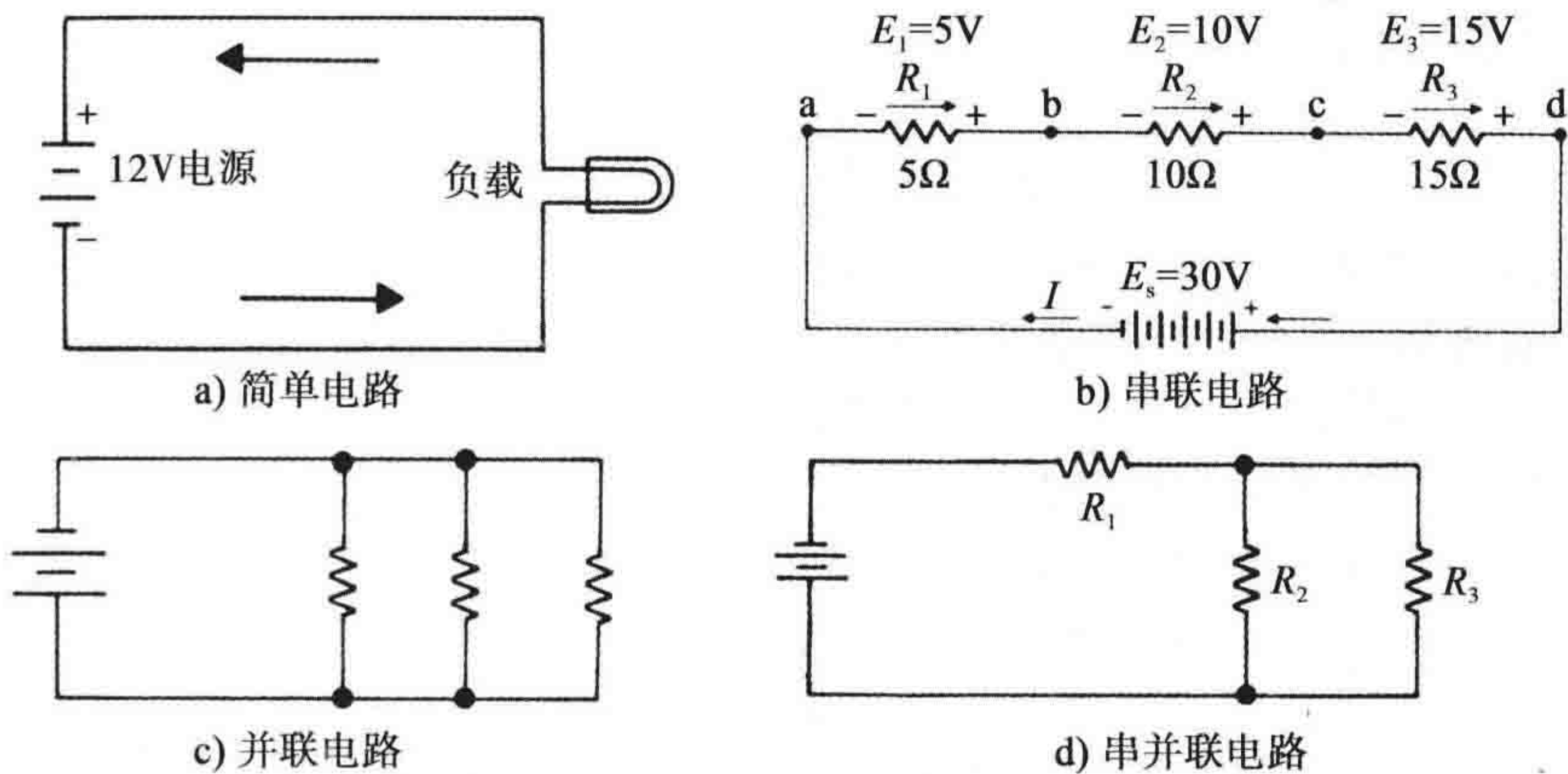


图 I-12 闭合电路

为了形成闭合电路，必须遵循如下规则：

1. 电源的一端应连接到耗电设备的一端，即 A 连到 B，如图 I-13 所示。
2. 电源的另一端连接到开关控制装置一端，即 C 连到 D。
3. 开关控制装置的另一端连接到耗电设备的另一端，即 E 连到 F。

使用这种方法可以形成一个闭合路径，其电子的流动方向是从电池或电源含有多余电子的一端到缺少电子的一端。电子沿着闭合路径的移动可以提供能量，当然，为了得到闭合路径，开关必须闭合。

如果所搭建的电路使电子的移动路径是唯一的，那么称这样的电路为串联电路。如果电子的移动路径有两个或两个以上，那么该电路称为并联电路。

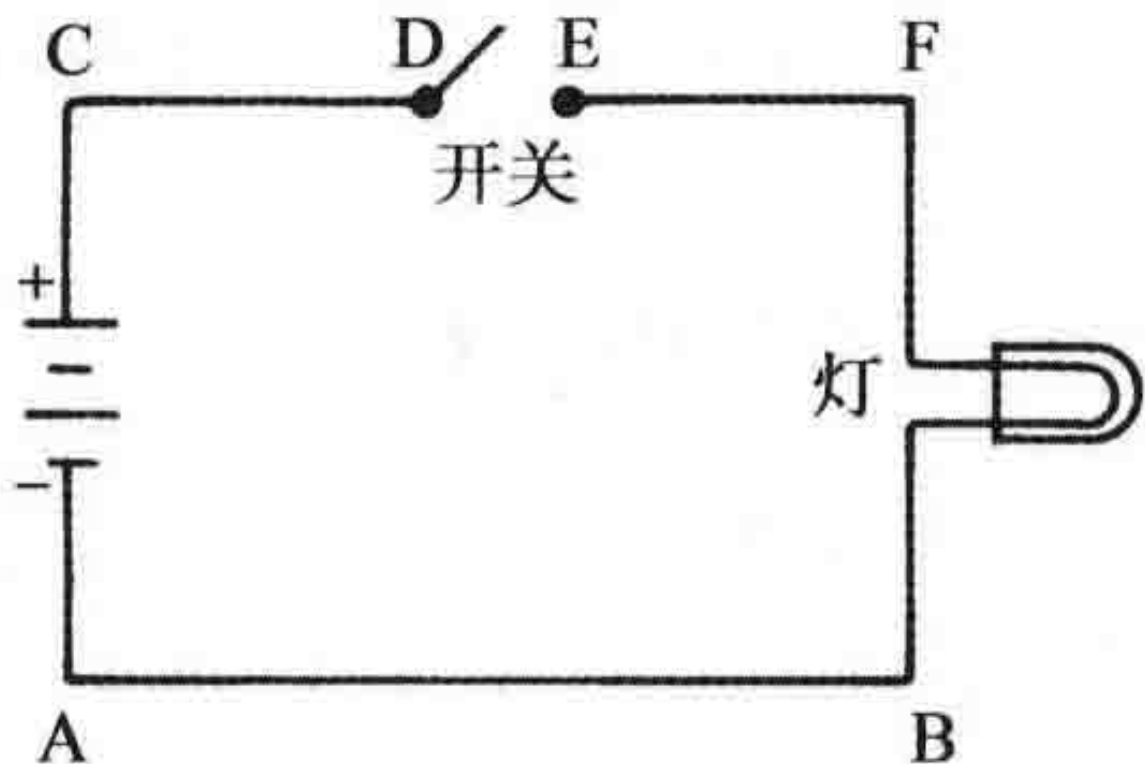


图 I-13 由开关断开引起的开路

- **串联电路** 图 I-12b 所示电路中，3 个电阻串联连接，在电流返回电池的正极之前通过每个电阻。

基尔霍夫电压定律的描述是：所有电阻或负载两端电压的代数和等于外加电压。电压降被认为是电阻两端的电压。如图 I-12b 所示，电流通过 3 个电阻，电阻  $R_1$  的电压降为 5V，电阻  $R_2$  的电压降为 10V，电阻  $R_3$  的电压降为 15V，3 个电压降之和等于外加电压 30V。

串联电路中总的电阻值等于每个电阻阻值之和：

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

- **并联电路** 并联电路中，每个负载（电阻）直接与电源两端并接，被称为支路的许多独立路径中有电流流过（如图 I-12c 所示）。

并联电路中，由于所有支路都是与电源并联的，因此，所有支路两端的电压相同。并



联电路中，电流与各支路电阻有关。后面将要讨论的欧姆定律可以用来确定各条支路中的电流。将各个电流加起来即可得到并联电路的总电流，公式如下所示：

$$I_{R_T}=I_{R_1}+I_{R_2}+I_{R_3}+\cdots$$

并联电路的总电阻不能通过相加各个电阻值之和而得到。下面的两个公式用于计算并联电路中的电阻。如果并联电路仅有两个电阻，则可用如下的简单公式：

$$R_T=\frac{R_1\times R_2}{R_1+R_2}$$

如果并联电路中存在的电阻多于两个，那么可用如下的公式来计算（如果仅存在两个电阻，也可以用此公式）：

$$\frac{1}{R_T}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\cdots$$

应该记住：并联电路中的总电阻总是小于支路的最小电阻。

- **串并联电路** 串并联电路是两类电路的组合，如图 I-12d 所示。
- **开路** 开路是指不存在电子通行的闭合路径，一个不闭合路径通常是由不良连接或开关断开引起的（如图 1-13 所示）。
- **短路** 短路是一条电子流动阻力最小的路径。当阻值较小的导线放置于耗电设备两端时，就会形成短路，由此就有一个较大电流流经电阻值最小的路径，而不是耗电设备。短路通常会产生过电流，这会导致过热，可能会引起火灾或其他危险（见图 I-14）。

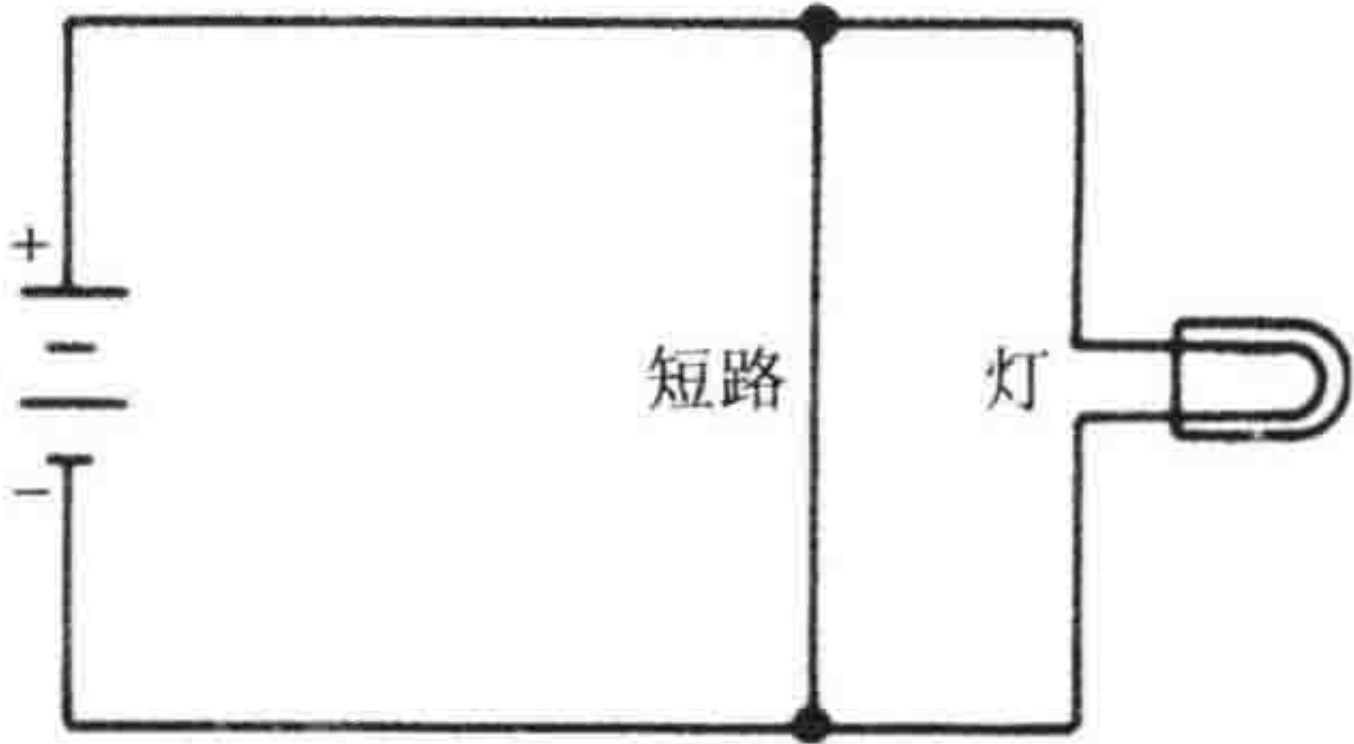


图 I-14 短路，导线的电阻比灯的电阻小很多

如果已知电路的电压和电阻，那就很容易计算出电路的电流。对于任何电路，电压、电流和电阻之间的关系均满足欧姆定律。

## 1.7 欧姆定律

有 3 个基本的电量，并且每一个电量都与其他两个电量存在关系。物理学家乔治·西蒙·欧姆（Georg S. Ohm）在 1827 年发现：在任何电路中，当对电子的移动起阻碍作用的只有电阻时，电压、电流和电阻满足一定的关系。这种关系是：电流强度与电压成正比，与电阻成反比。

借助公式  $E=I\times R$  可以很容易表示出欧姆定律，公式中， $E$  代表电动势或电压， $I$  表示电流或电子流动的强度， $R$  代表电阻。当电流和电阻已知时，可利用该公式获取电动势（电压）。

当已知电压和电阻时，使用下面的公式可以得出电流：

$$I=\frac{E}{R}$$

为了获取电阻，可使用下面的公式来得到：

$$R=\frac{E}{I}$$

### 欧姆定律的应用

电气工程中经常需要用到欧姆定律，例如，在一个特定电路中确定导线型号或获取电路



中的电阻。

解决问题的最好办法就是从一些简单事情开始，例如：

1. 如果给定电压为 100V，并已知电阻为 50Ω，那么，获取电路中的电流是很简单的，这就是欧姆定律的一个实际应用。

$$I = \frac{E}{R}$$
$$I = \frac{100\text{V}}{50\Omega}$$
$$I = 2\text{A}$$

2. 如果给定电流为 4A（显示在电流表上），并已知电压为 100V（从电压表上读取），那么，获取电阻值是很容易的。

$$R = \frac{E}{I}$$
$$R = \frac{100\text{V}}{4\text{A}}$$
$$R = 25\Omega$$

3. 如果已知电流为 5A，电阻测量值为 75Ω（电流被加到电路前进行测量），那么可以确定需要多大电压才能使电路正常运行。

$$E = I \times R$$
$$E = 5\text{A} \times 75\Omega$$
$$E = 375\text{V}$$

图 I-15 说明了欧姆定律的使用方法。

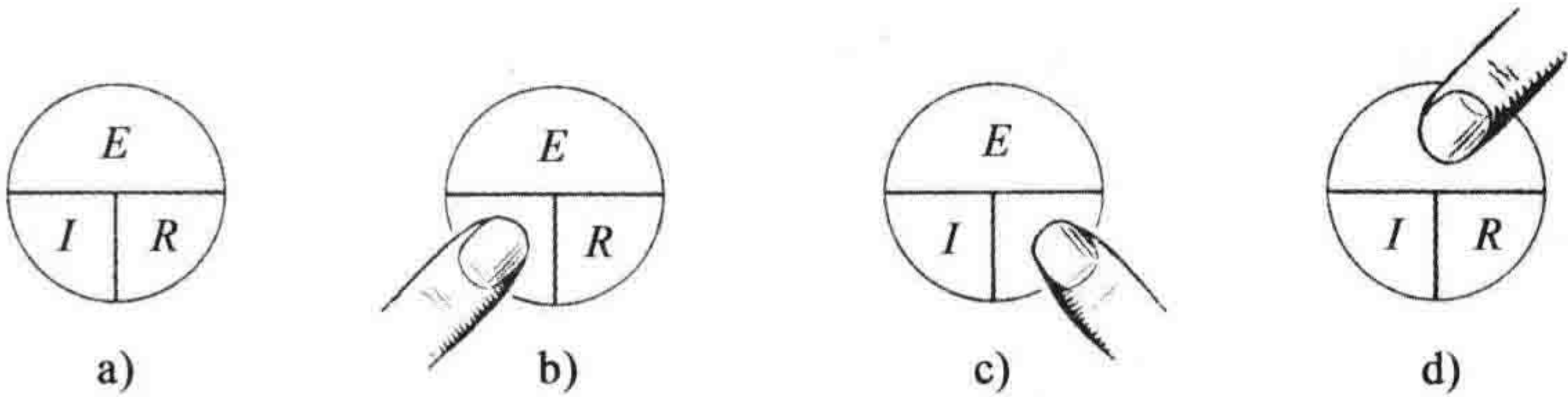


图 I-15 欧姆定律。这个图说明了欧姆定律的使用方法。手指位置为未知量，剩余两个字母代入公式即可获得未知量

### 1.8 功率

功率被定义为做功的速率。在米制计量里，用瓦特（W）表示功率，用焦耳（J）表示能量或功。1W 是 1s 内产生 1J 能量所需要的功率（1W=1J/s）。1J 是 1N 的力沿力的方向移动 1m 所做的功（1J=1N×1m）。

一直以来，美国使用马力（hp）来计量功率。电动机仍然用马力标定额定值，并可能会持续一段时间。当加拿大和英国转向米制时，美国并没有改变，可能永远也不会改变。功率可以是电气的，也可以是机械的。当机械力用来举起物体时，它就做了功。物体移动的速率称为功率。马力是以单位时间内一定重量的物体移动一定距离来定义的。移动物体时消耗了能量，在此过程中也做功了。在机械领域做的功可用等量的电能进行等效。1hp 等于 746W 电功率（见表 I-C）。



表 I-C 马力

1 马力通常定义为 1s 内将 550lb 的物体移动 1ft 距离所做的功
在大多数情况下，现代方式是以千瓦而非马来计量功率的。如果电动机以马来指定，需要以瓦或千瓦标定其额定值，则需进行简单转换：1hp=746W
用瓦或千瓦分别除以 746 或者 0.746 就可以得到用马力值标定的额定功率

电动机的额定功率是通过电压乘以满载时电流获得的。功率是以瓦特为单位计量的。换言之，1V 乘以 1A 等于 1W。用公式表示如下：

功率 = 电压 × 电流 或  $P = E \times I$

千瓦

前缀 k 表示 1000。因此 1000W 等于 1kW。1kW · h 相当于 1000W 的设备使用了 1 小时。电费账单都是根据千瓦时来计算的。

有时需要使用功率公式来算出电路的功率。3 个最常用的公式是：

$P = E \times I$

$P = \frac{E^2}{R}$

$P = I^2 R$

这意味着，如果电压、电流或电阻这三项中的任意一项未知，那么都能够通过使用两个已知量之间的关系求解出未知量。在以后的章节中，你会遇到  $I^2R$  损耗的问题，以及其他一些与上述公式相关的术语。

毫瓦 (mW) 有时也用在电气设备中。例如，便携式晶体管收音机扬声器的额定值可能为 100mW 或 300mW，由于前缀 m 表示千分之一，这意味着其额定值为 0.1W 或 0.3W。晶体管电路的功率一般为毫瓦级，但输电线的功率一般为千瓦级。

1.9 电的测量

如果要想出售或充分利用电能的话，则必须准确测量它。测量电能的方法有很多，如可以测量电压、电流或功率等。电能表是最常用的电能计量仪表。

1.9.1 仪表

测量任何一个量，都必须有测量的基本单位。在测量电能时，电流（电子流）是以安培为基本单位来度量的。通常借助永久磁铁和电磁铁来测量电流。由于我们甚至在最强大的显微镜下也无法看到电子，因此这样的测量设备是必要的。显然，当没有可见的粒子用来计数时，记录指定点处每秒通过的电子个数是不可能的，因此，磁场用于测量电子效应。

达松伐尔 (D'Arsonval) 仪表测量机构使用永久磁铁作为基座，导线或者电磁铁在上面旋转并且可以自由移动。当电流流过线圈时，便建立了磁场（见图 I-16a 和图 I-16b）。磁场强度将决定线圈偏转角度。动线圈的极性和永久磁铁的极性是相同的，结果会产生排斥反应，并与流过线圈的电流所产生的磁场强度成正比。线圈的匝数乘以通过线圈的电流决定了磁场的强度。由于仪表线圈在宝石轴承上旋转来减少摩擦，所以测量机构需要通过已知的电流源或者另一块仪表进行校准。需要校准新设备上的刻度，以读出安培、毫安或者微安数（见图 I-16c）。



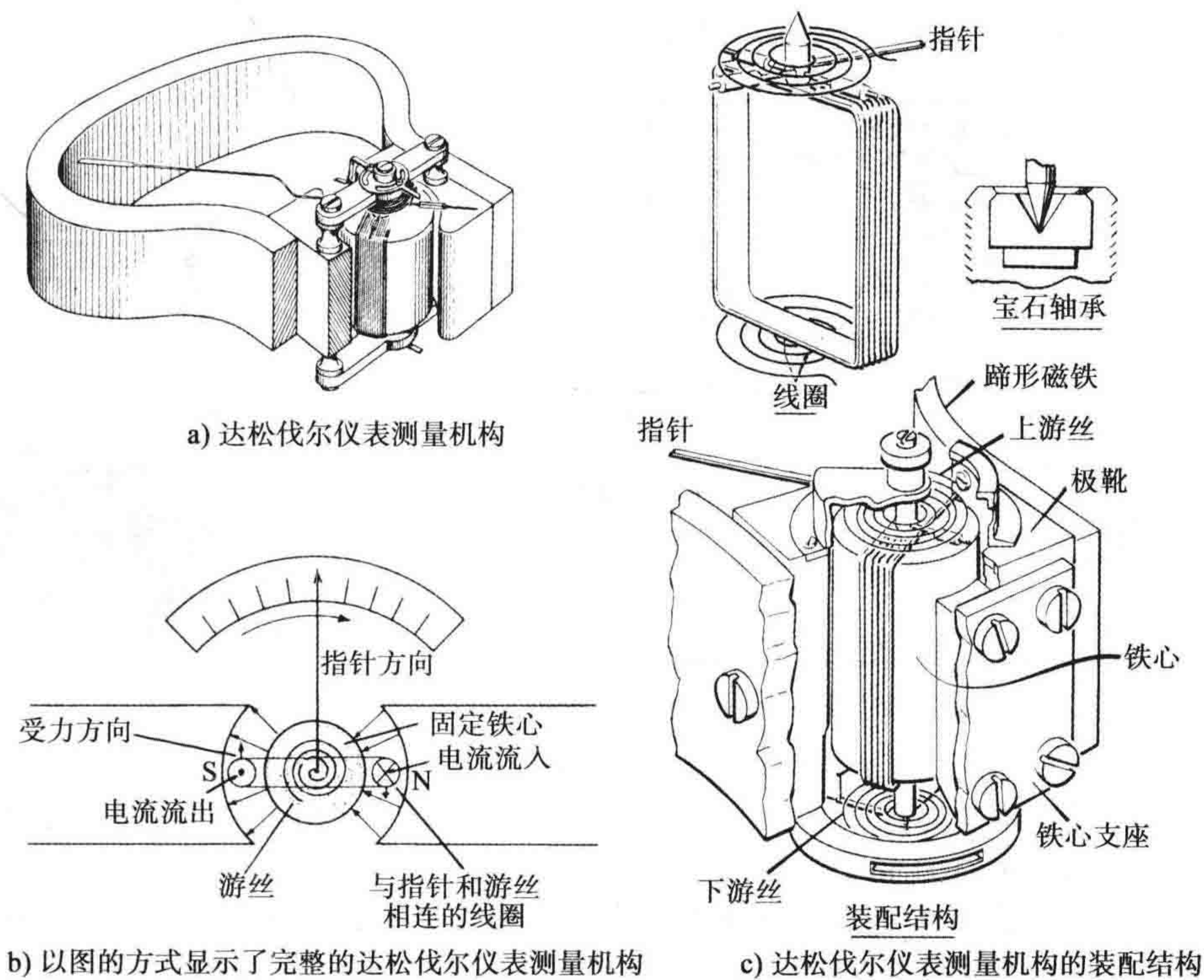


图 I-16 达松伐尔仪表

- **交流电流表** 如果要用直流仪表测量机构测量交流，那么需要在电路（仪表电路）中插入整流器将交流转换成直流，否则，交流电流会使仪表上的指针快速摆动。这种摆动意味着指针从零刻度开始偏转很少或没有偏转（见图 I-17）。
- **旁路** 在仪表测量机构中旁路是分流的一种方式。适当大小的电阻并联在仪表测量机构上旁路掉流过测量机构的电流。大部分电流都被分流了，只留下必要的一部分，以使仪表指针能在其设计范围内偏转。校准仪表后，可以在其刻度盘上读出电路中流过的全部电流值（见图 I-18）。

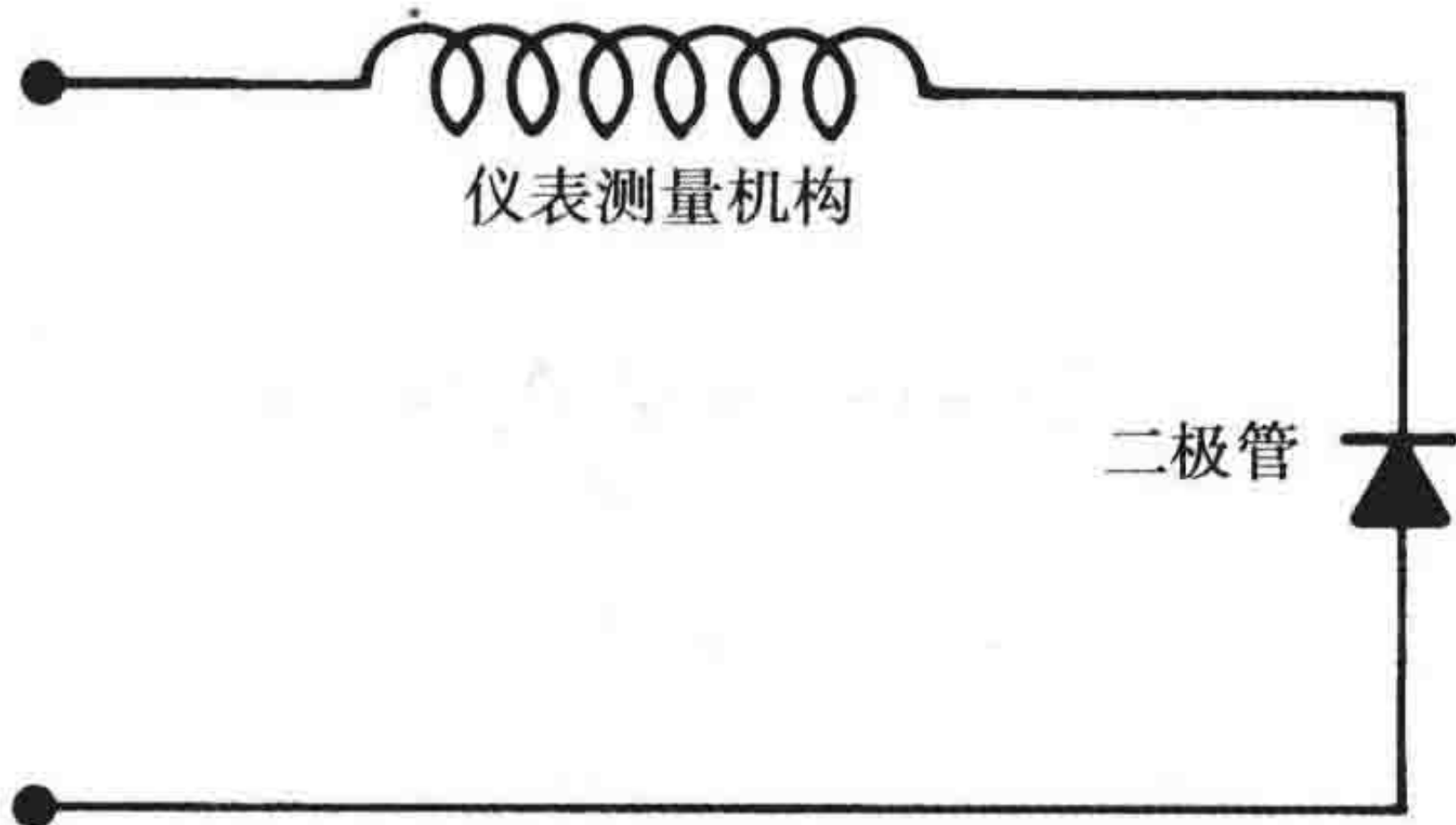


图 I-17 交流仪表测量机构可通过在直流仪表测量机构中增加一个二极管来实现

可以在仪表外壳内安放很多旁路，并可以进行切换。对于每个需要的量程，可以通过转接不同的电阻（旁路）来实现。有多种测量范围的仪表被称作万用表。

万用表（也可以测量电压和电阻）的外形如图 I-19 所示。它可以测量的电流范围为  $0\sim 1\text{mA}$ 、 $0\sim 10\text{mA}$  和  $0.1\sim 1\text{A}$ 。这是一个  $1\text{mA}$  的仪表测量机构，当测量值最高为  $1\text{mA}$  时，不需要旁路。然而，测量范围为  $0\sim 10\text{mA}$  和  $0.1\sim 1\text{A}$  时需要接入旁路。仪表上的开关也可以在测量电路中加入一个二极管以辅助测量交流电。

公共端（COMMON）和正极端（POSITIVE）插孔都插有测试引线以连接需要测量的电路。COMMON 插孔是负极（-）、黑色的，POSITIVE 插孔是正极（+）、红色的。然而，测量交流时，没必要区分极性，无论哪一条引线都可以用在交流电路的任意一个端子上。电流







因为这样会导致仪表测量机构损坏。

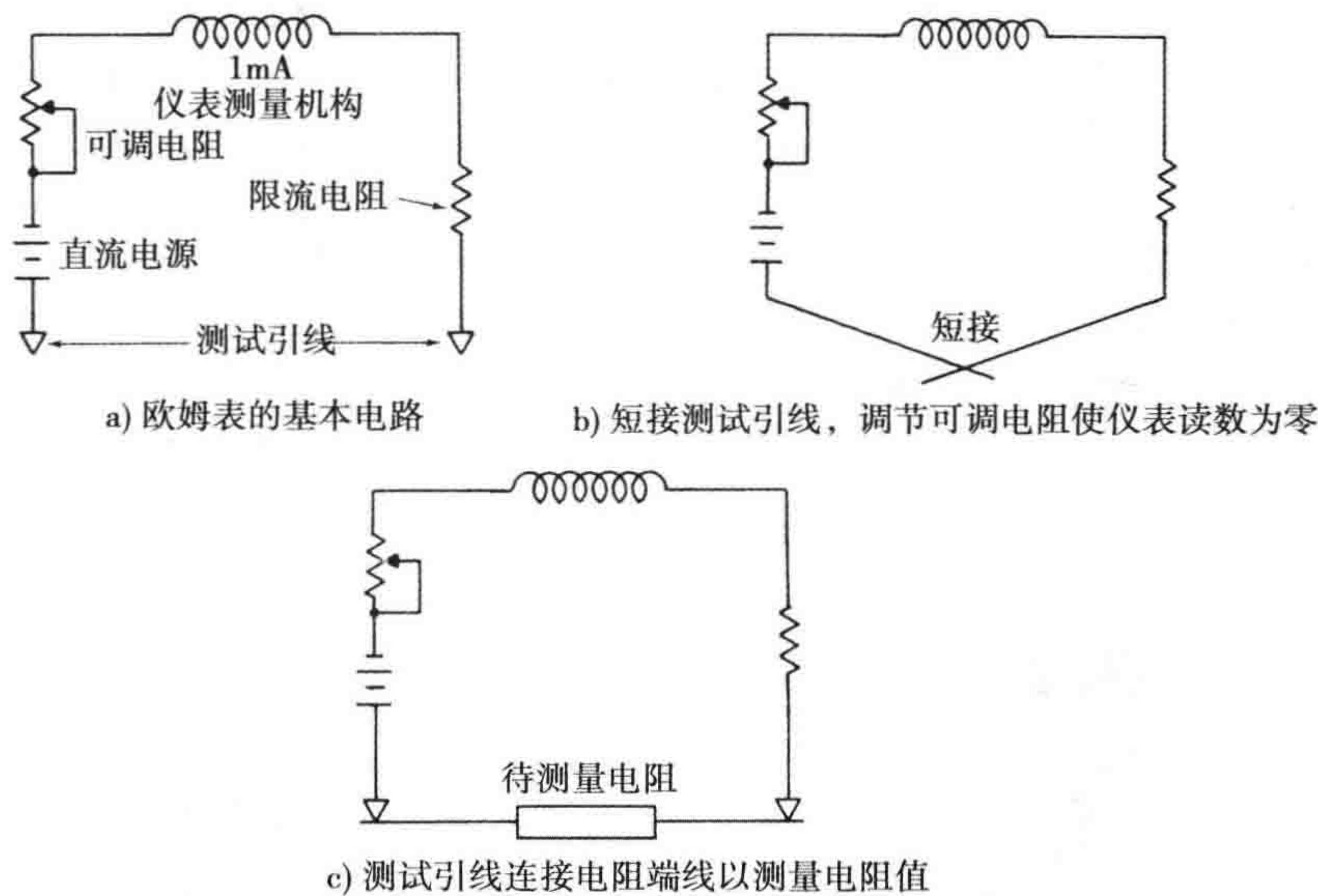


图 I-23 欧姆表测量原理

校准欧姆表后，使仪表在开始测量电阻时读数为零，这意味着你调整了仪表的电路以补偿电池电压变化。不管是否使用了电池，电池电压都会随着搁置时间而降低。它会随时间失去电压。

有些仪表不是便携的，它们需要外部电源。使用真空管和晶体管的电子电路可以改善仪表的性能。图 I-24 所示为一个数字电压表，该表被设置为直流电压挡。

- **数字式仪表** 数字式仪表完全是电子式的。它使用印制电路和集成电路芯片来测量和计算电压、电阻和电流值。仪表内部没有线圈或磁铁。

图 I-24 所示为一个便携式功能完备的数字式仪表。该仪表在液晶显示器（LCD）上显示读数。这种类型的数字显示方式可以在很多仪器、钟表以及手表上找到。

这类仪表中的大多数都有多个电压量程，必须在每次测量电路的时候选择量程。有一些仪表可以自动切换量程，它们自动选择合适的量程以测量电压，不需要预选，但操作者必须指明是要测量电压、电阻还是电流。

数字式仪表大约每秒采样 5 次测量值，然后显示这 5 个采样值的平均值，以确保读数非常精确。在大多数情况下，电工并不关心这些仪表的读数能否达到 0.01V 的精确度。

这些仪表精确度非常高，并且易于使用。你只需要将仪表设定到所需要的功能上，然后选择欧姆挡，并将测试探针跨接在电阻两端来测量电阻即可；如果你将这个仪表用作毫安表，则需要将其正确地接入到需要测量的电路中。当测量电路中的电阻时，需确保仪表接入时电源处于断开状态。

这种类型的仪表很耐用，但是如果仪表设置为欧姆挡，但却用于测量电压了，则该仪表就可能会损坏。打开太长时间或仪表发生剧烈碰撞，显示器可

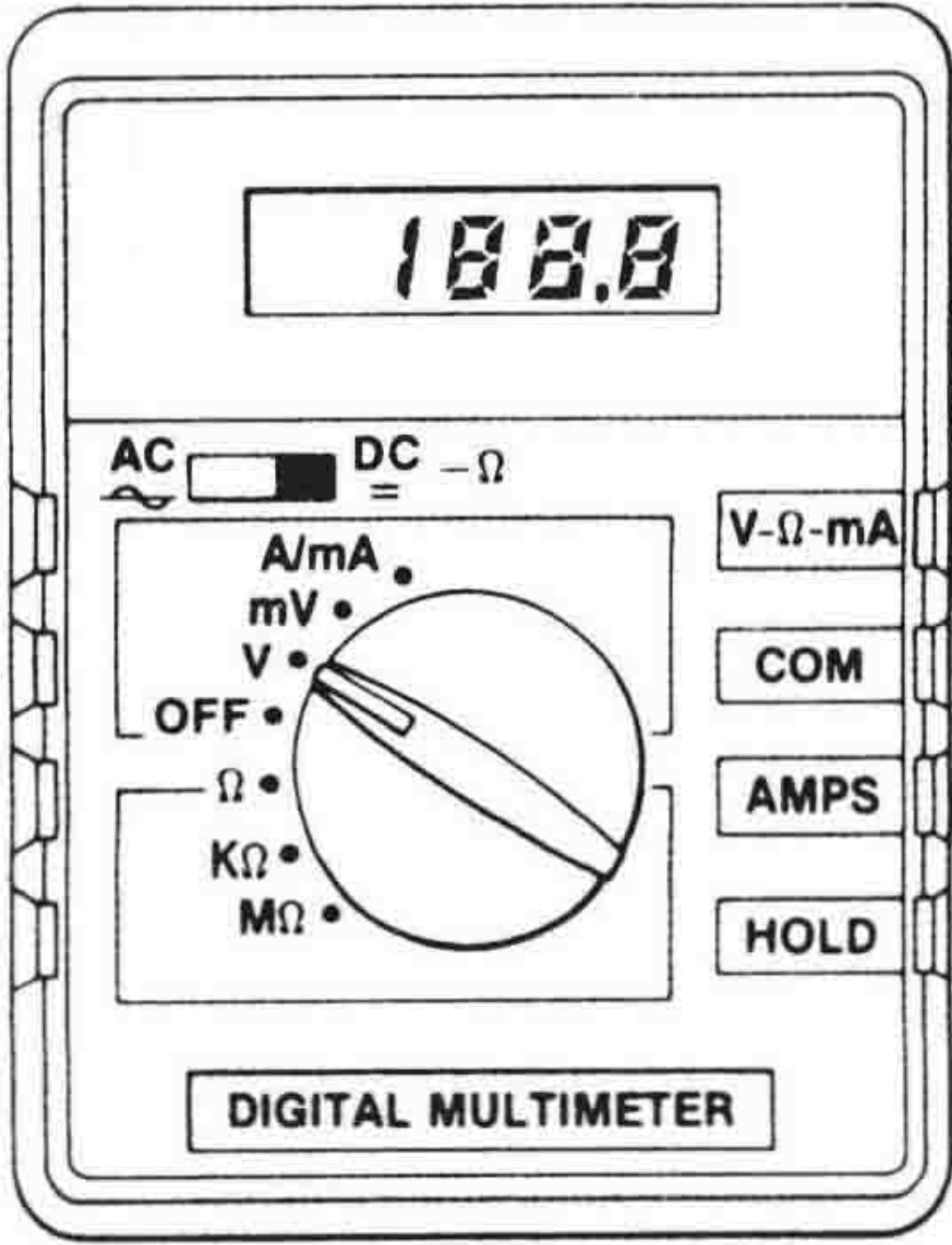


图 I-24 设置在直流电压挡的数字电压表



能永久损坏。另外，为了延长电池的使用寿命，不用的时候应当将其关闭。

数字式仪表的价格正在迅速下降。渐渐地数字式仪表有望取代所有其他类型的仪表。然而，在某些用途上，达松伐尔测量机构胜过数字式仪表。例如，有时仪表指示器只需要指针偏转以显示操作正确，如果用数字式仪表，你必须等待数字上下浮动，这需要用户集中注意力。达松伐尔测量机构只显示了指针的偏转。

- **交流钳式仪表** 图 I-25 和图 I-26 所示仪表为两种类型的交流钳式仪表。仪表夹在载有交流电的导线上，导线周围的磁场在仪表中感应出微弱的电流。校准后的仪表盘刻度可以读出电流或者电压值。由于导线穿过仪表测量机构延伸出来的大圆环，所以可以直接读出交流电压或电流值而不用剥掉导线的绝缘层。当对交流电动机进行测量时，这些仪表非常有用。

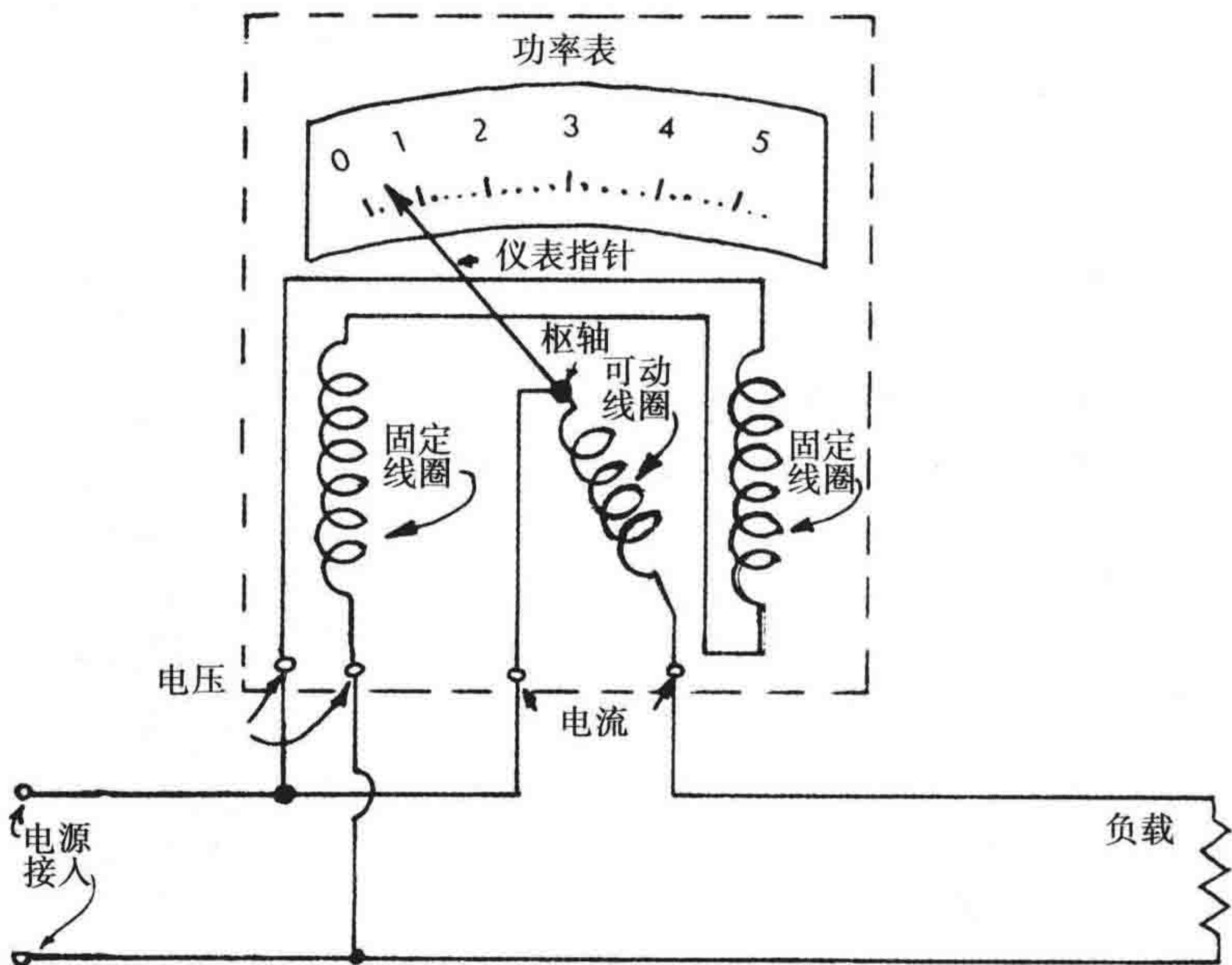


图 I-25 便携钳式交流电压电流表



图 I-26 钳式交流电压表（Weston 产品）

- **功率表** 功率表用于测量电功率。电功率可以通过电压乘以电流计算出来。功率表有两个电磁线圈（多匝细线圈用于测量电压，匝数较少的粗线圈用于测量电流）。电压线圈并联在进线上，而电流线圈与其中一条进线相串联。这两个线圈是固定的并与可动线圈串联。磁场的强度决定了可动线圈的偏转量，由此可在功率表的刻度盘上读取指针的偏转量。利用这种方法，功率表可以测量 1s 内消耗的电能（见图 I-27）。



a) 功率表接线图

图 I-27 功率表



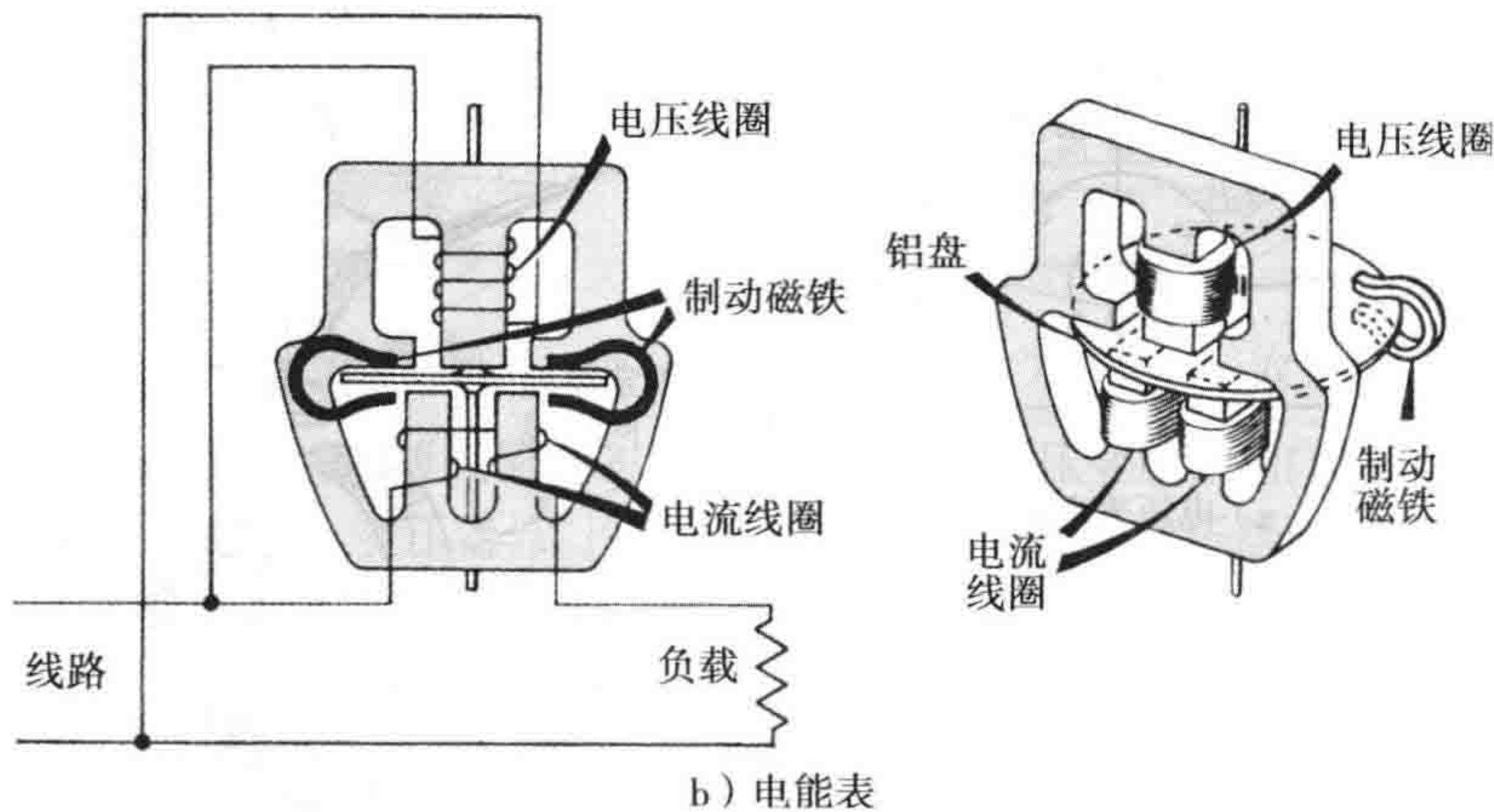


图 I-27 (续)

为了测量较长一段时间内所消耗的电能，设计了电能表。电能表在房屋或者建筑物的侧面经常可以见到。它测量一段时间内消耗的电能，例如，一个月。电能表以千瓦计量所消耗的电能，电能以每千瓦时来定价。

电能表是一种小型的感应电动机。仪表转矩是通过一个称为定子的电磁铁产生的，它有两组绕组。一组绕组称作电压线圈，产生一个表示电路电压的磁场，另一组绕组称作电流线圈，产生一个表示负载电流的磁场。两个线圈经过合理布置，可以使它们的磁场在仪表盘上产生一个力，该力与所接负载消耗的电能或功率成正比。

使用永久磁铁可以引入一个与仪表盘转速成比例的减速或制动力。对于任意给定负载，制动磁铁的磁场强度控制了表盘转速，使表盘每转一圈都始终测量等量的电能或电量。表盘的转动被转换成了仪表计量器上的千瓦时。

大多数仪表都安装在墙上的仪表箱中。拆除电能表就会中断或终止电能，不需要处理危险的高压线。三相电和单相电的测量需要使用不同的电能表，这将在后面的第 16、19 和 20 章中讨论。在电力公司服务中心，可通过计算机检测电能表（见图 I-28）。

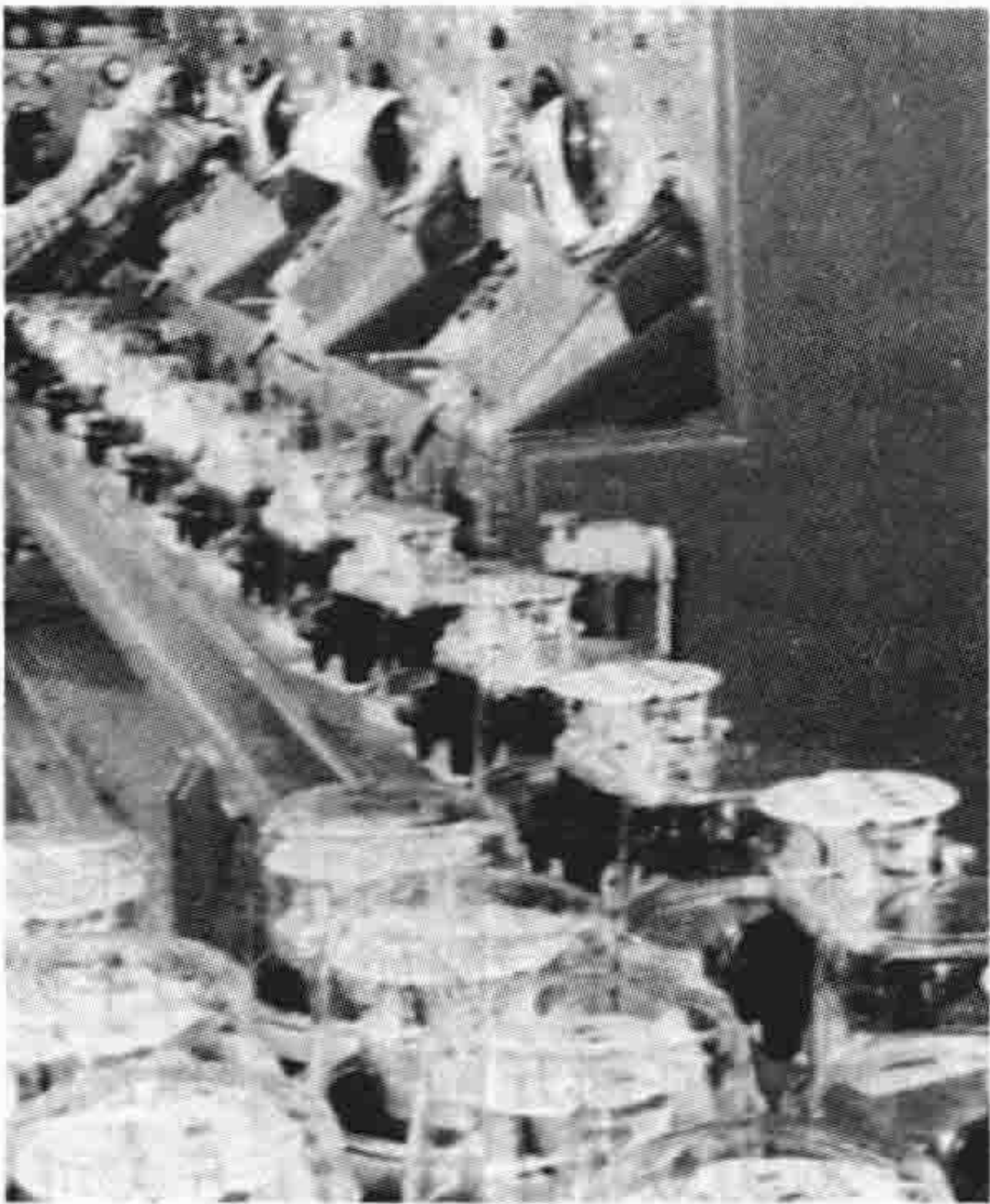


图 I-28 计算机检测电能表

1.9.2 其他类型的仪表

还有其他类型的仪表用于测量电压和电流。达松伐尔测量机构只是目前使用的许多类型中的一种。紧带式仪表和达松伐尔测量机构基本上相同，所不同的是它有一个紧绷弯曲的臂可将线圈和指针置于永久磁极的中间。另外，它没有可动的部件接触电能表的外壳，因此不需要宝石轴承。当紧带放进电能表基架里的时候，它是盘曲的，这样当线圈中的电流中断时，它就会将线圈弹回到初始位置。

- **电动式仪表** 电动式仪表没有使用永久磁铁。通过两个固定线圈可以产生磁场，它还使用了两个可动线圈。这种仪表可以当作电压表或者电流表来使用（见图 I-29）。它没有达松伐尔仪表测量机构灵敏。



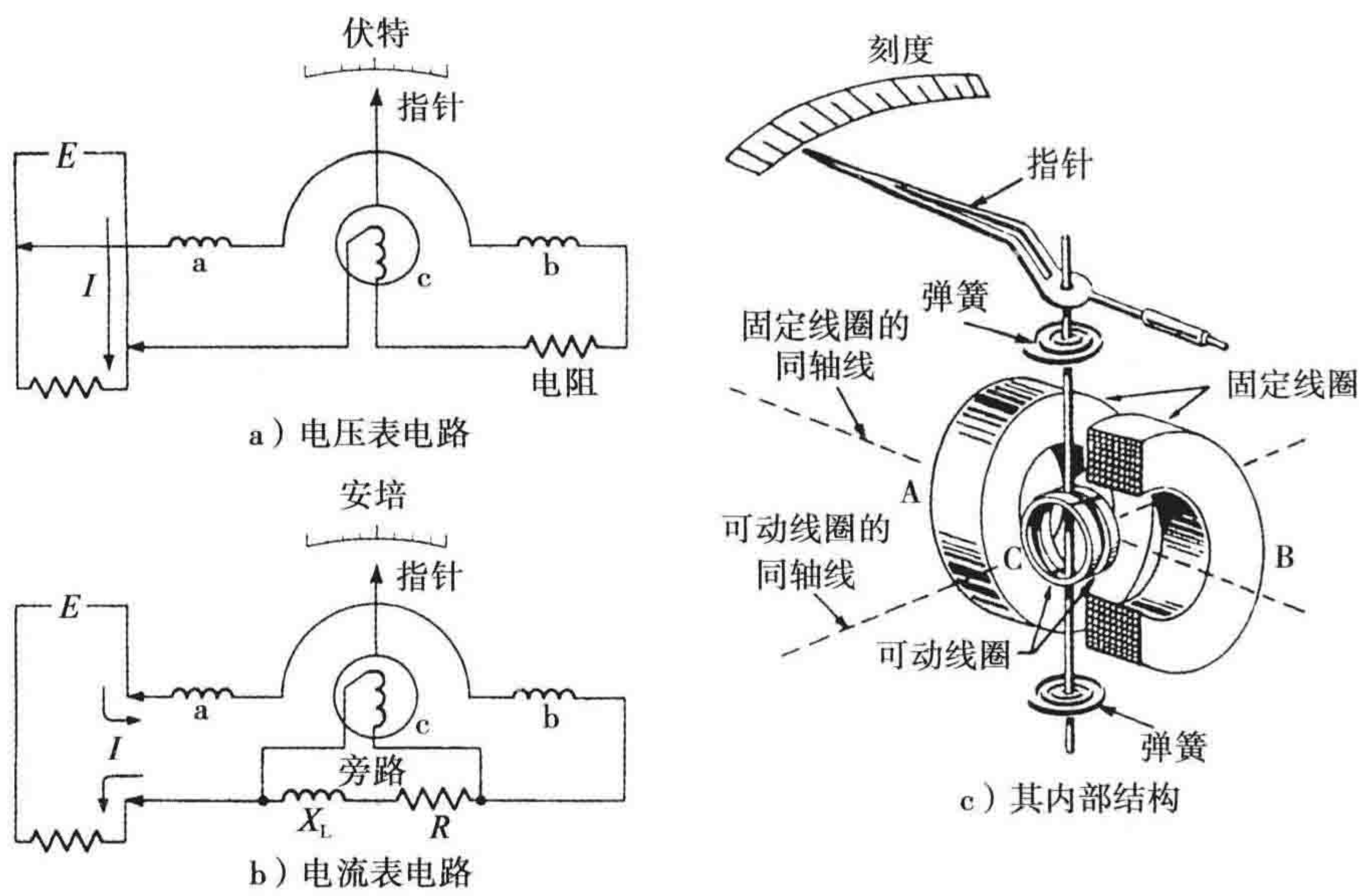


图 I-29 电动式仪表

I.10 电能控制

为了使电能可以为我们所用，有必要对其进行控制，使其在正确的地点、正确的时间使用，否则，它可能造成巨大的伤害——甚至是致命的伤害。电能可以通过开关、继电器或者二极管来控制。这些装置可将电流引向需要它工作的地方。每个装置都要细心挑选以便可以完成指定工作。例如，使用继电器可以进行远程控制，在电气或电子设备中使用二极管可以控制大电流和小电流。二极管是一种只允许电流单向流动的器件，它可将交流电转换成直流电。

I.10.1 开关

用于控制电流的开关有很多。每类开关都有不同的名字，这样有助于根据它所完成的工作来对其命名。例如，单刀单掷（SPST）开关就是这样命名的，单刀动作于接通或断开两个接触点。在断开位置，触点没有接触，电流中断（见图 I-30）。

双刀双掷（DPDT）开关可以同时控制多个电路。它可以通过反转极性来改变直流电动机的旋转方向（见图 I-31）。

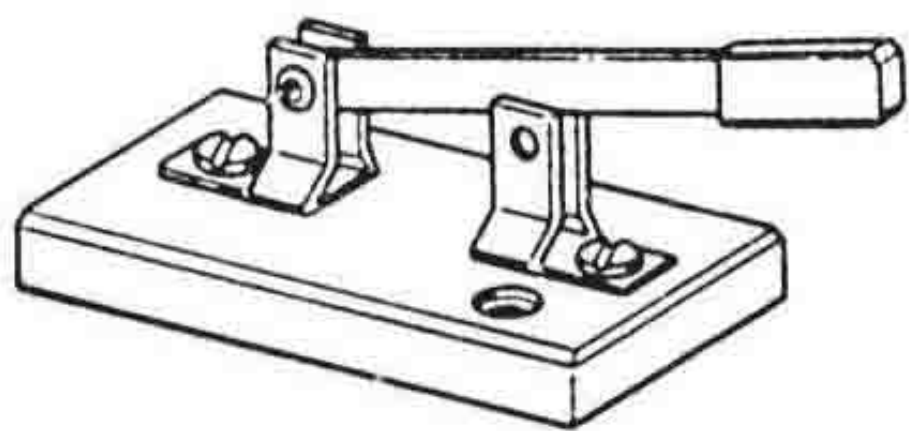


图 I-30 刀开关——单刀单掷

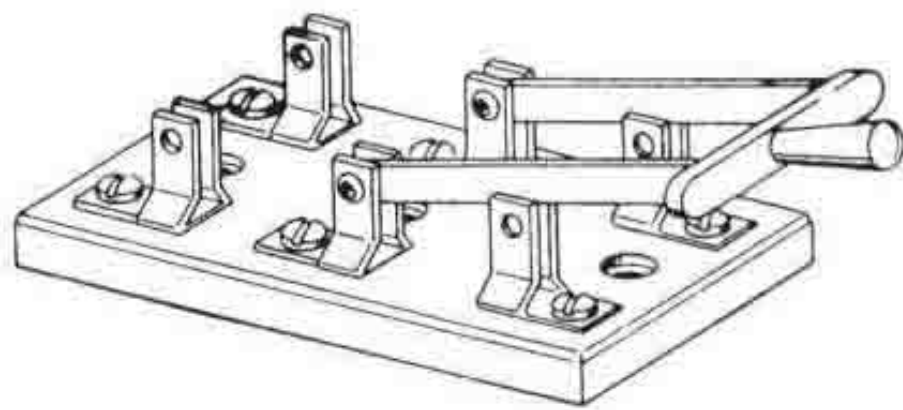


图 I-31 刀开关——双刀双掷

图 I-32 所示为单刀双掷（SPDT）开关。SPST、DPDT 以及 SPDT 这些开关都是开放式开关，不能用在超过 12V 的电路中。它们通常被称为无线电开关或者电池转换开关，在这里用于展示开关的简单操作。用在更高电压上的开关是全封闭的，避免身体接触，这样可以防止短路或接触到高电压造成的电击伤害。

双刀单掷开关可以同时控制两个电路。它可以控制两个电路的简单通断。打开开关，中断两个电路中的电流；闭合开关，使正常工作的电路闭合。这种开关只能用于低电压电路



中，这样电击的危险会大大降低。图 I-33 所示为这种类型的开关。

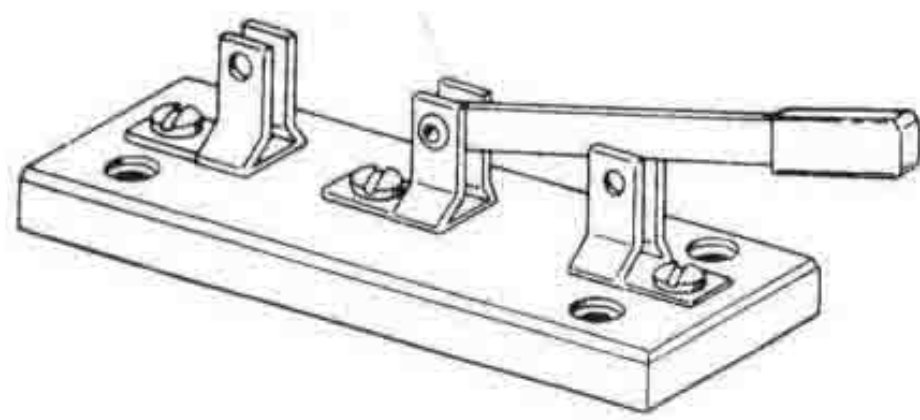


图 I-32 刀开关——单刀双掷

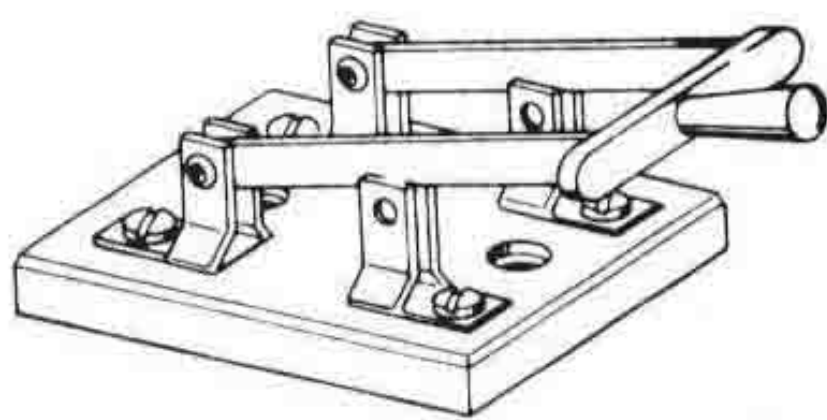


图 I-33 刀开关——双刀单掷

门铃开关或音乐门铃开关是极其简单的，它用于控制从低压变压器到门铃间电路的通断（见图 I-34）。当按下按钮的时候，变压器与门铃形成闭合电路，电流从变压器流向门铃（见图 I-35）。

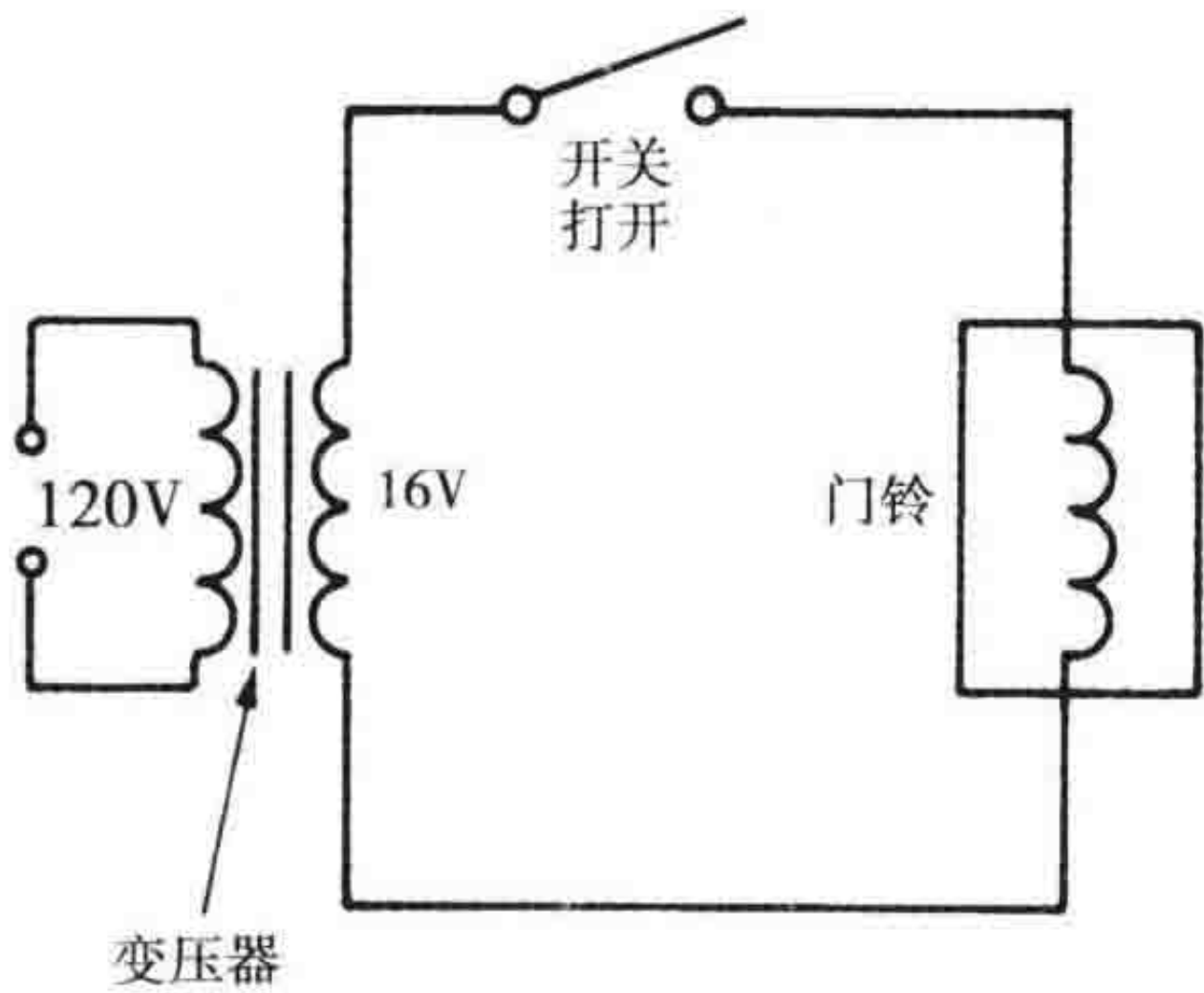


图 I-34 开关打开的门铃电路

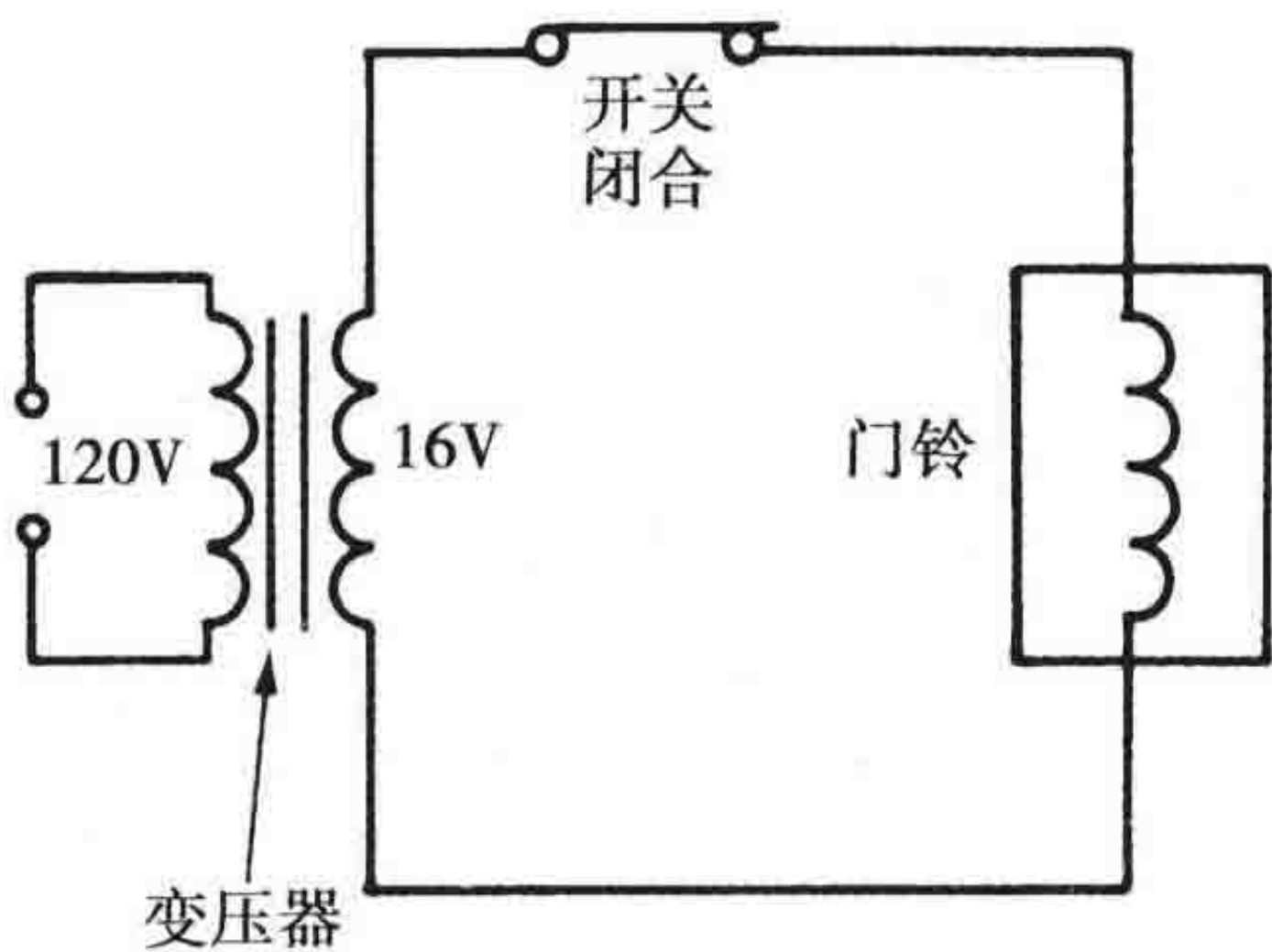


图 I-35 开关闭合的门铃电路

- **拨动开关** 拨动开关可以开启和关闭各种设备，或者是从一个装置切换到另一个装置。它们有多种配置，目的是帮助完成特定工作的选择（见图 I-36）。这些开关通常有一个金属手柄，安装在一个圆孔中，而且它通常还提供用于接线的螺旋式接线端。有一些开关可能会提供引线，此时导线连接器可将开关引线连接到电路中。导线连接器是一种通过将两根导线末端缠绕拧紧进而连接起来的装置，它的外部使用塑料涂层外壳进行绝缘。

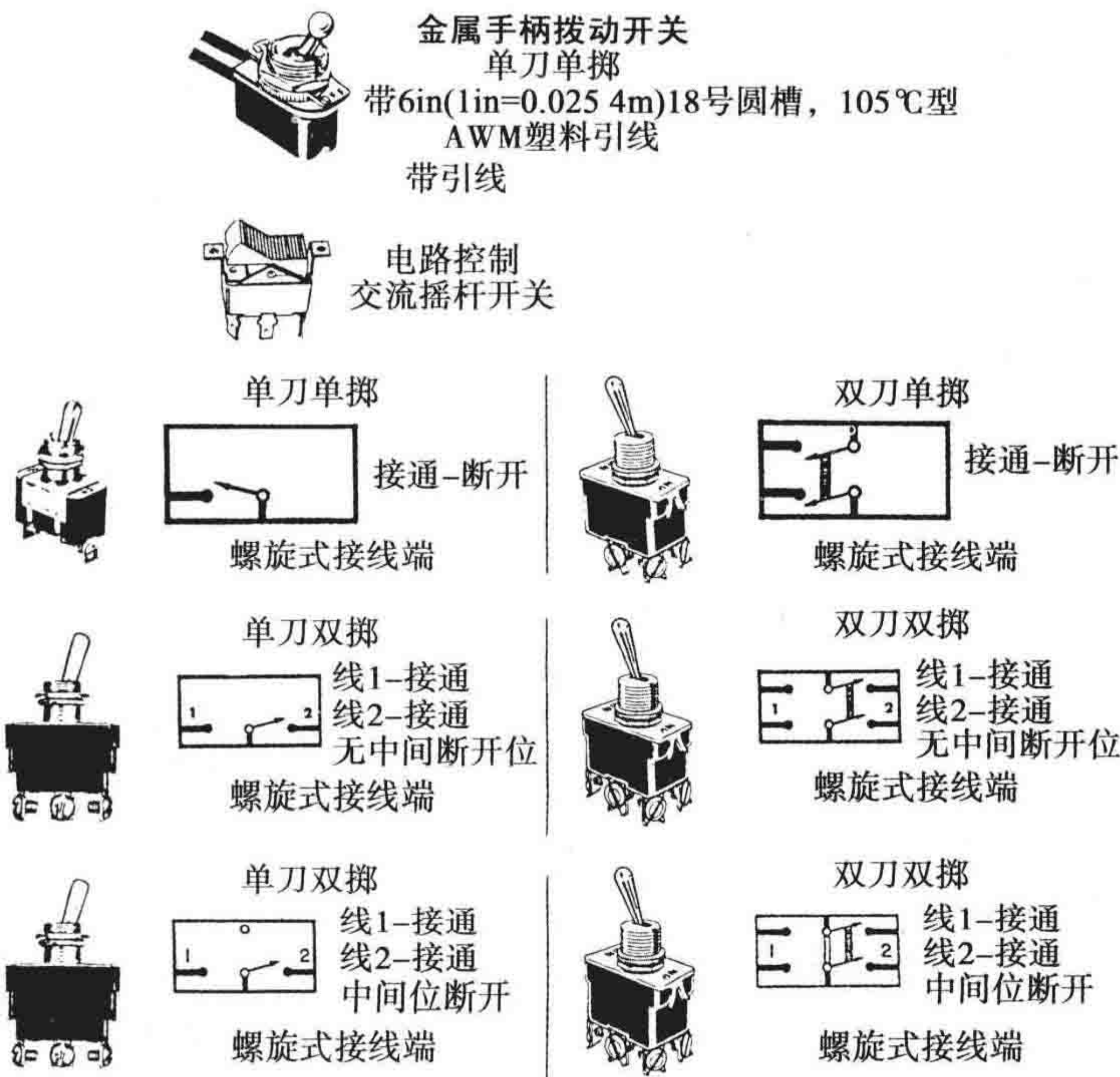


图 I-36 拨动开关



注意图 I-36 中的交流摇杆开关，它是通过螺钉安装到开关的钢支架上的。支架上的螺钉孔可用 6~32 号一字螺钉来固定。通常这些开关使用的额定值为交流 120V，特别需要注意流过开关电流的大小。开关有能力通断 240V 的电路，与额定值为 240V 的开关相比，额定值为 120V 时其电流通常增加了一倍。这意味着额定值为 120V/6A 的开关用于 240V 电路时，电流额定值必须降到 3A。

- **住宅拨动开关** 当需要在商业、工业或者家庭中使用开关的时候，会遇见各种形状的开关。例如，在图 I-37 中，你会发现其中的一些开关用在交流 120V 和交流 240V 的照明电路和小型电动机电路中。如图 I-37 所示，A 为一个住宅拨动开关，在 125V 线路上其额定值为 10A。注意在长螺钉附近没有“耳片”。开关 B 和 A 类似，所不同的是它有一个宽宽的耳片（在螺钉孔周围的延伸部分），如果不需要将开关紧紧地固定在盒子里，可以很容易将其拆掉，耳片上有刻痕（标记），可以很容易弯曲并去除。开关 C 比 A 和 B 都贵，它具有顶级质量，带有宽宽的耳片。注意此种开关中用于连接电路接线的螺钉位于最上面，而不是开关旁边。

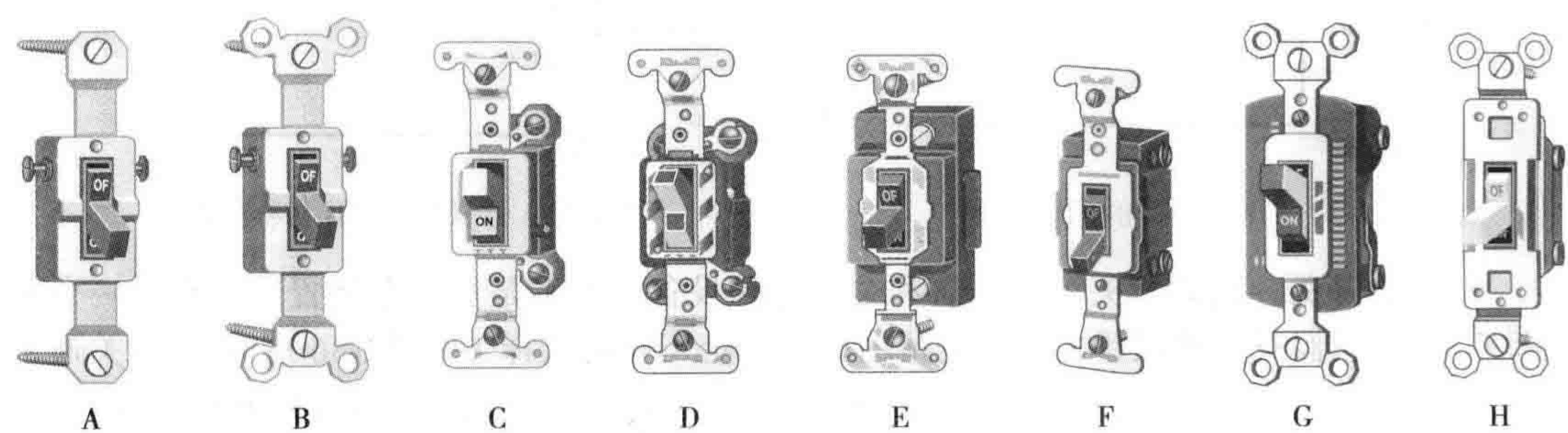


图 I-37 住宅和办公室用开关

开关 D 为大容量重型的工业开关，电压为 125V 时，电流额定值为 20A。开关 E 是超重型工业开关，它是一种更加昂贵的开关，它能减弱开关打开或关闭时所产生的电弧。开关每次打开或关闭时出现的电弧能够产生很高的热量，该热量可以使开关触点产生麻点，并形成高阻接触。通过使用灭弧装置，开关 E 触点的寿命可以更长。

开关 F 是一种无噪声的重型开关，它消除了开关接通、断开时产生的噪声。开关 G 也是一种重型、无噪声、符合大容量规范等级的开关，适用于 120V 或 277V/15A 的电路中。开关 H 无噪声，用于 15A 的交流电路中，它侧面或后面布线带有接线螺钉或无螺钉端子。一些开关具有接地母线，用在使用酚醛树脂盒的非金属环境中，以及用于连接设备接地线和铁箱。这些新型开关配有绿色的接地螺钉端子。当然，接地端子也可以是象牙色的或者棕色的。

- **三路开关** 三路开关用在不止一个位置需要控制一盏灯或一台设备的地方。这些开关有 3 个端子而不是两个，并且在手柄上没有 ON 和 OFF 标签。除了有 3 个端子可以接入电路以外，三路开关看起来和常规开关一样。
- **四路开关** 四路开关有两极，用在 3 个及以上位置需要控制一盏灯或一台设备的地方。如果想要 3 处控制，那么需要两个三路开关和 1 个四路开关。四路开关和三路开关相类似，只是它有 4 个端子可以接入电路中。针对不同电流的控制任务，还有一些其他类型的开关。当特定工作需要它们的时候再对它们进行介绍。

开关用于接通或切断电流，从而使设备开始工作或者停止运行。开关可以反转极性，例如，在电动机回路中，转子的旋转方向可以通过这种动作实现反向旋转。正如所看到的那样，开关有很多形状和尺寸。需要记住的重要一点是，要使用电压和电流额定值适当的开关来完成相关的工作。仔细研究第 5 章中展示的开关类型有助于选择合适的开关来完成特定的工作。



I.10.2 螺线管

螺线管是接通和断开电、气、油或水的装置。使用螺线管的场合很多，例如，洗衣机中用其接通冷水断开热水以得到水温适宜的混合水。要想控制流过热水的螺线管，需要在电路中接入温控器。

图 I-38 所示为用在热风炉中控制天然气流量的螺线管剖面图。注意线圈是如何缠绕在活塞上的。活塞是螺线管的铁心，每当电流流过线圈使其得电时，电磁效应使活塞向上运动吸入到线圈区域。当活塞在电磁铁拉力的作用下向上移动时，柔性圆垫也被向上拉起，此时允许气体流过阀门。这种基本技术可以控制水、油、汽油或任何其他液体、气体。

汽车上的起动机螺线管采用类似的过程，所不同的是活塞末端有电触头，可以形成从电池到起动器的闭合电路。使用 12V 低电压和小电流可以使螺线管的线圈得电，线圈进而向上吸住活塞，然后活塞接触重型负载触点，它需要承受起动冷发动机所需要的 300A 电流。通过这种方法，可以从远程位置使用低电压小电流来控制低电压大电流。

螺线管是电磁铁，而电磁铁则由缠绕在软铁心上的线圈组成。当电流流过线圈时，铁心被磁化，磁化的铁心可以用来吸引衔铁，并将其作为一个磁断路器来使用（见图 I-39）。（断路器像熔断器一样，可以防止电路短路和过载。）在图 I-39 中，磁断路器与需要保护的负载电路以及开关触点相串联，当电路中流过过大的电流时，电磁铁中的强磁场会将衔铁吸到铁心上，与衔铁相连的弹簧将开关触点打开并断开电路。断路器必须要手动复位，以使电路再次工作。如果过载依旧存在，断路器会再次“跳闸”。它会连续不断地持续这个动作，直到发现并解决了短路或过载问题。

I.10.3 继电器

继电器是一种使用自身电源的独立电路实现远程电流控制的设备，如图 I-40 所示。

当开关闭合时，线圈得电，并有电流流过。电磁铁的拉力将软铁衔铁吸引到电磁铁铁心。随着衔铁移向线圈，它接触到电路的其他触点，从而与负载形成闭合回路。当开关打开时，继电器线圈失电，弹簧将衔铁拉回。触点断开动作将负载从 12V 电池电路中移除。继电器是远程开关，如果线圈正确地连接到电源上，几乎可以在任意距离实现控制。

继电器的类型有很多，它们用在固定电话电路上和几乎所有的自动化、电力机械控制中。

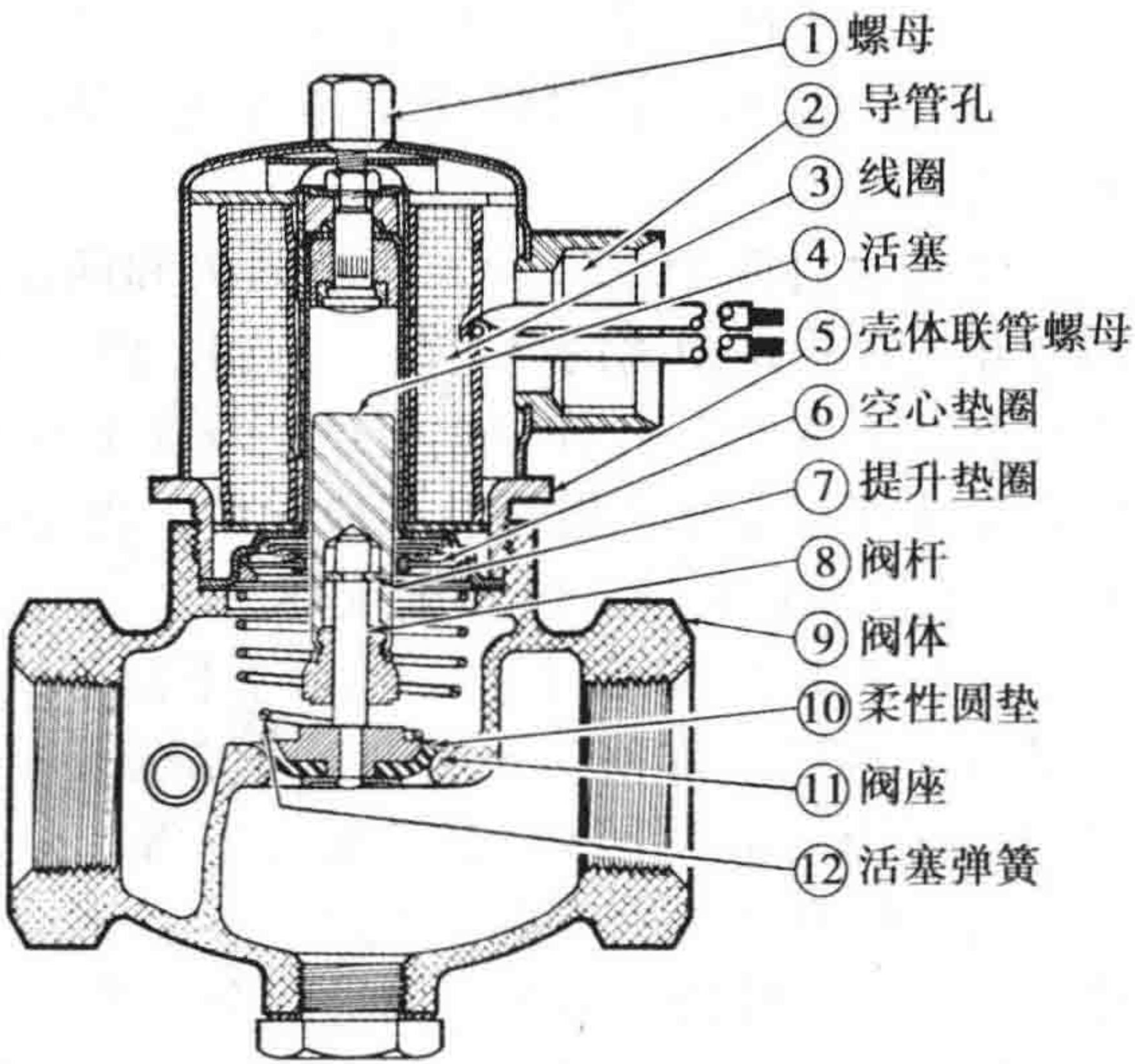


图 I-38 控制流向热风炉的天然气流量的螺线管

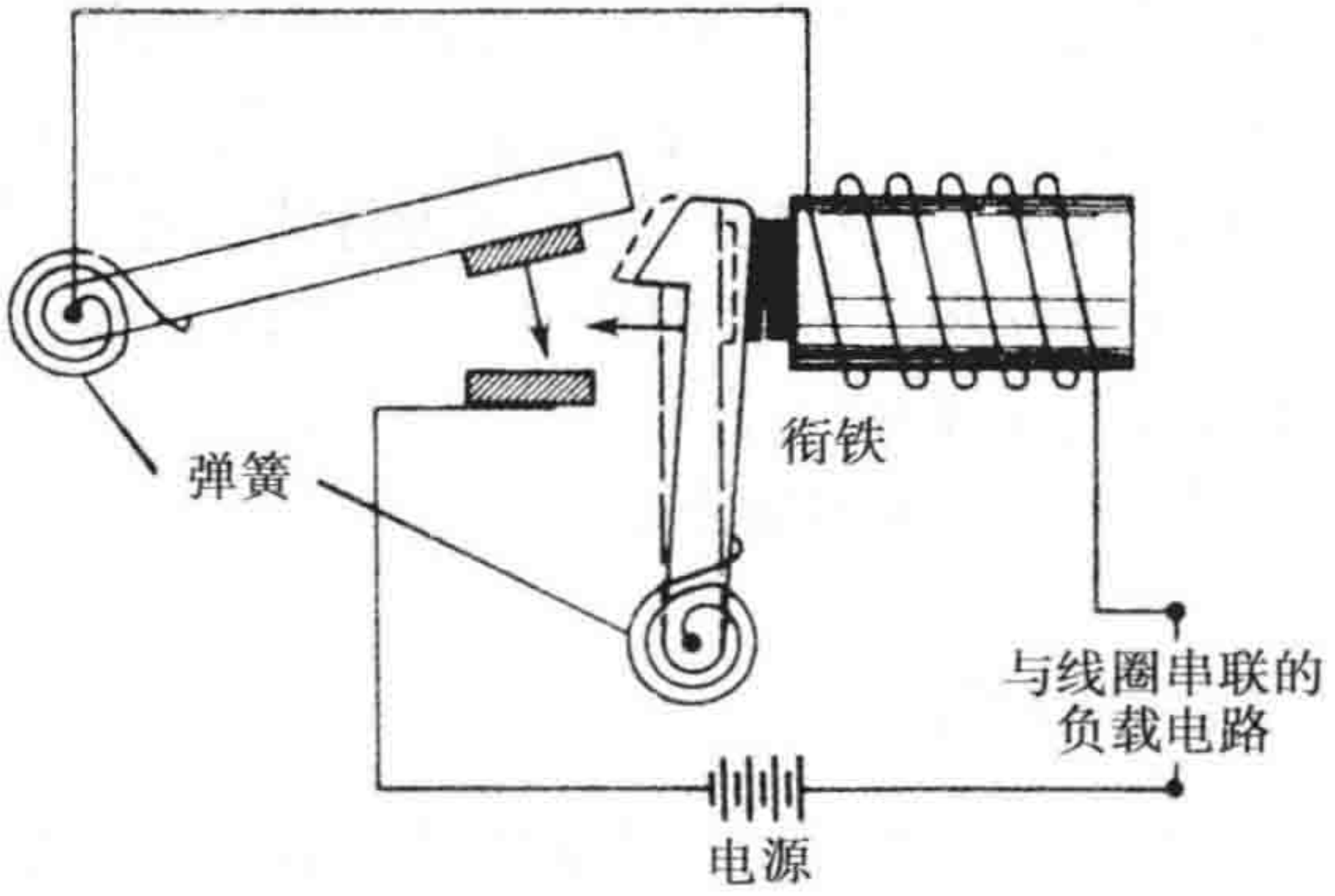


图 I-39 磁断路器



I.10.4 二极管

二极管是半导体器件，它只允许电流单向流通。电路中，将一个或多个二极管正确连接起来，就可以控制电流的流向（见图 I-41a）。在频率为 60Hz 的电路中，交流电流先在一个方向上流动，然后在反方向上流动，每秒重复此过程 120 次。二极管是一个整流器，它只允许电流在一个方向上流通。它可将交流转换成直流，只在一个方向上流通。

可以通过四个二极管、两个开关和两根线来控制与开关有一定距离的两盏灯。例如，图 I-41b 显示了按下开关 A 后，允许电流流过它以及 1 号二极管，然后电流流过 2 号二极管及相应导线，再经过灯 A，最后回到 120V 电源。灯 A 被点亮。

当开关 B 被按下时，电流流过下面导线和 3 号二极管，然后沿着顶部导线到 4 号二极管，再然后流向开关 B，最后回到 120V 交流电源，灯 B 被点亮。每当灯 B 点亮时，灯 A 熄灭，因为此时电流不能通过 2 号二极管。然而，如果两个开关同时按下，两个灯都会亮，这是因为交流电流依次流过两盏灯。例如，电流先在一个方向流过灯 A，然后在另一个方向流过灯 B。对于 60Hz 交流电流，人眼无法分辨灯的亮、灭状态。频率变化太快以至于人眼反应不过来，从而导致看到灯的状态为持续发光。

你会发现二极管应用在计算机以及其他不太复杂的电气设备中。请记住，二极管仅允许电流在一个方向上流通（单向流通）。

I.11 电阻

电路中，电阻是一种对电流具有一定大小的阻碍作用的设备。电阻是产生热的基础。它在电路中可以控制电子的流动，并确保适当的电压加到特定的设备上。电阻通常分为绕线电阻和碳质合成电阻。

- **绕线电阻** 这类电阻能提供足够的电流阻碍，其功耗为 5W 或更大。它们是由电阻丝制成的（见图 I-42）。可变绕线电阻还可以用在电压需要多次变化的电路中（见图 I-43）。一些可变电阻不仅可以改变阻值，还可以调节成特定的阻值（见图 I-44）。

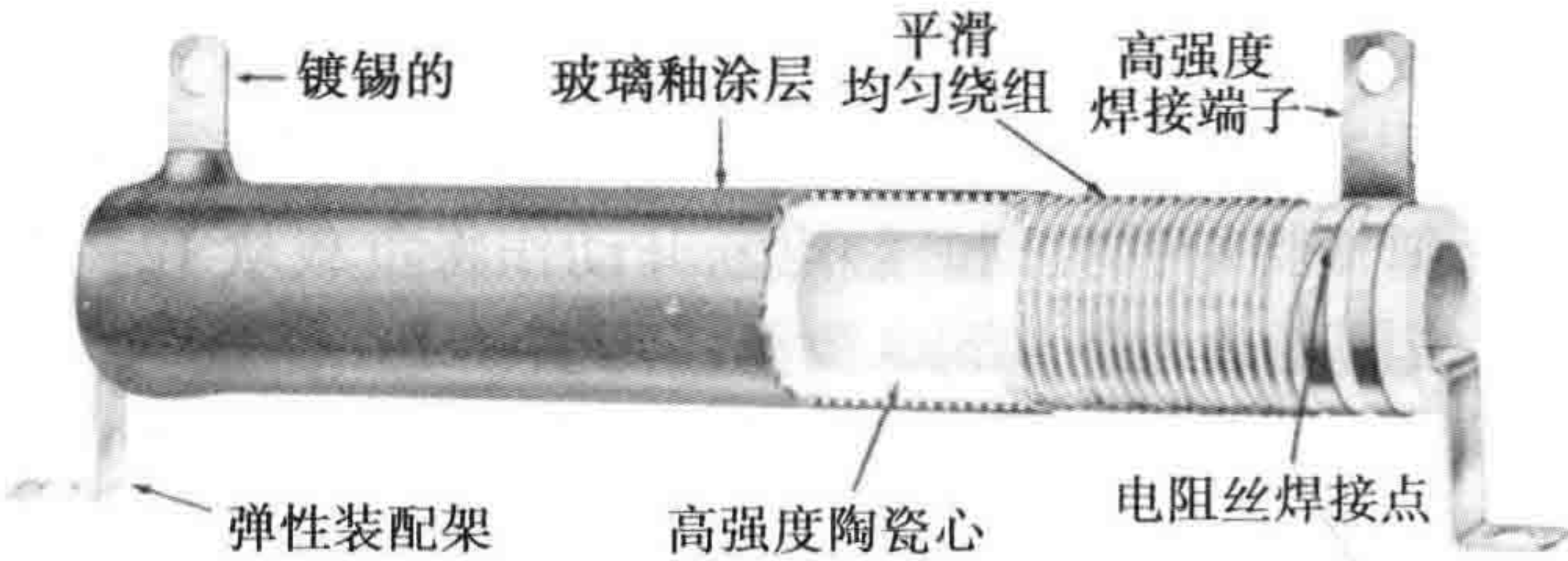


图 I-42 绕线电阻

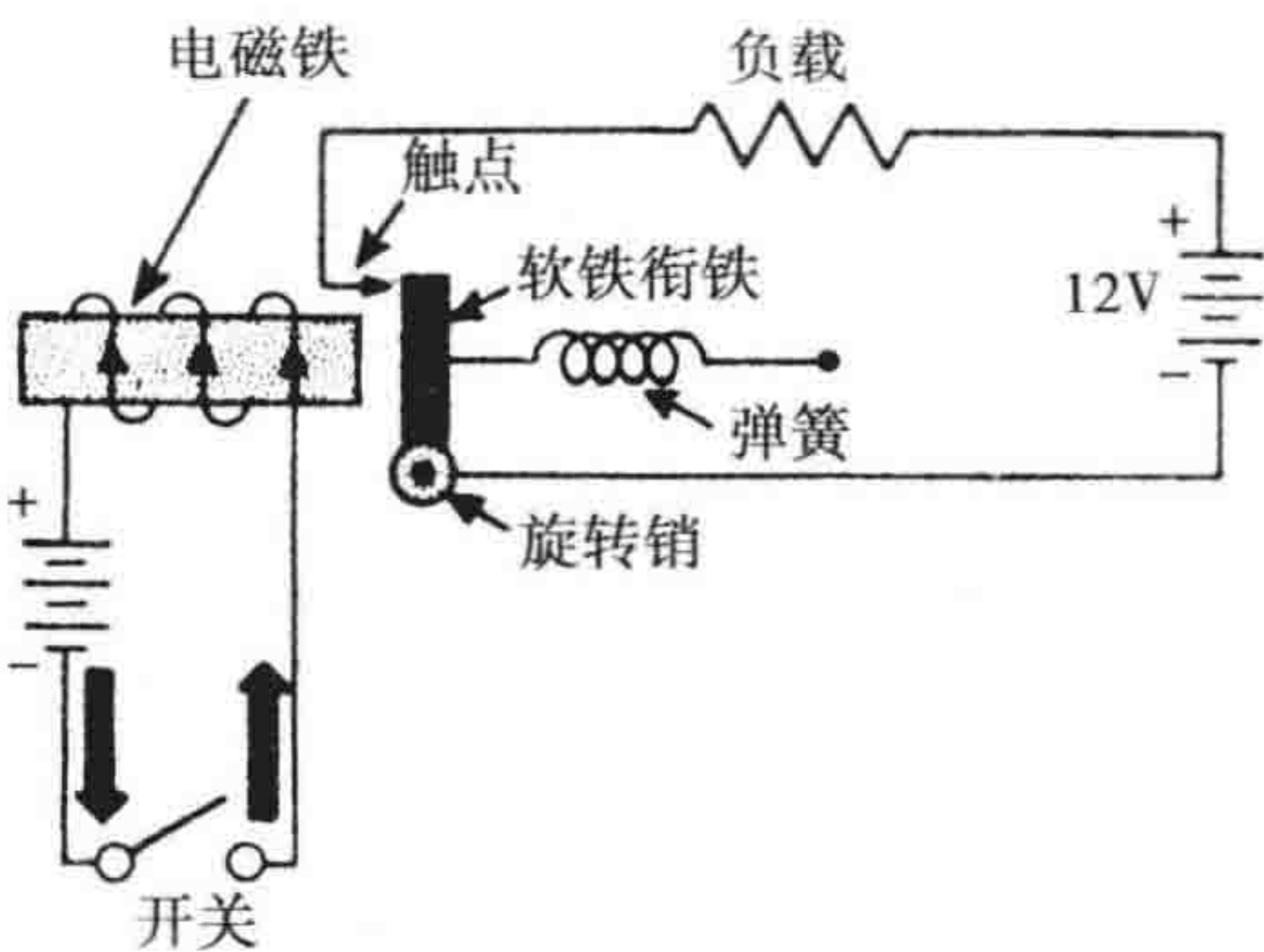
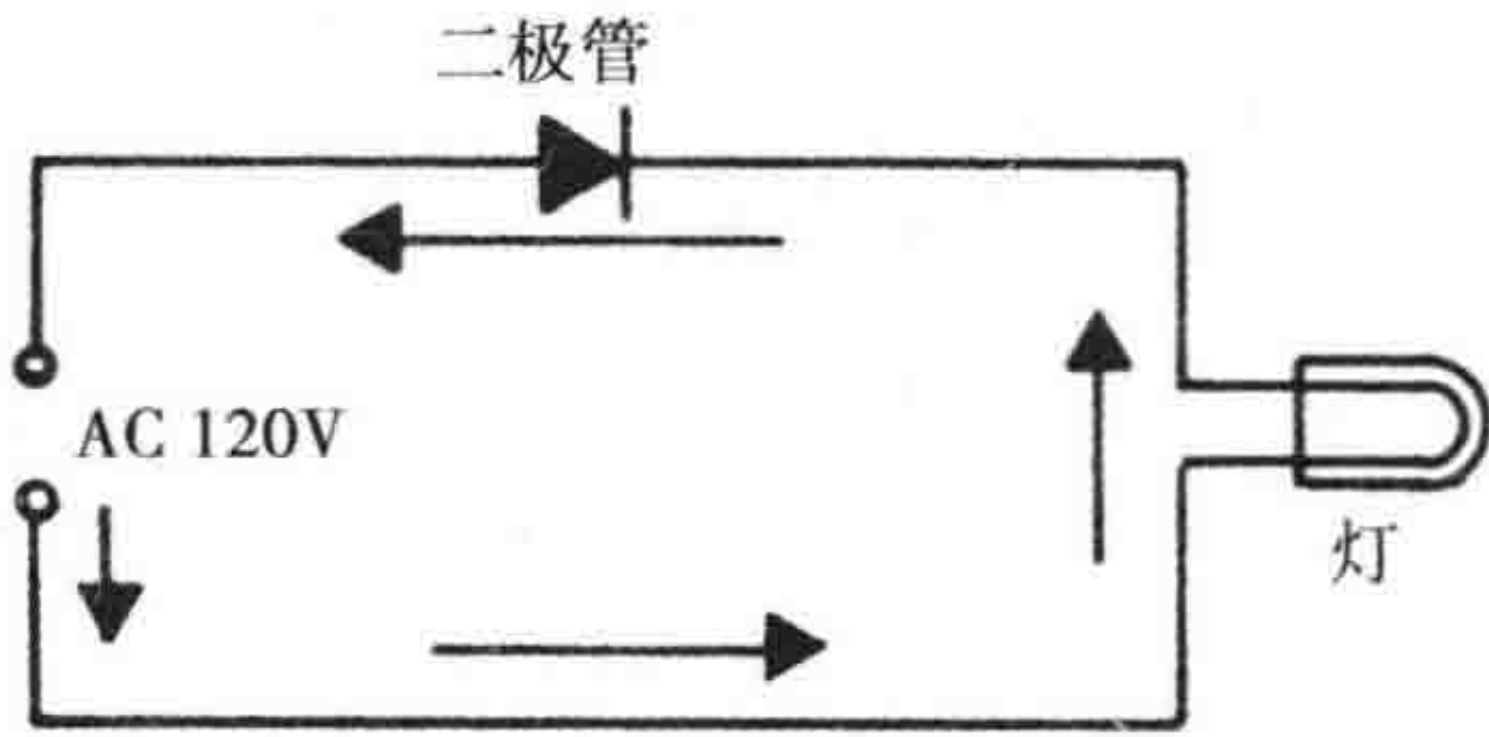
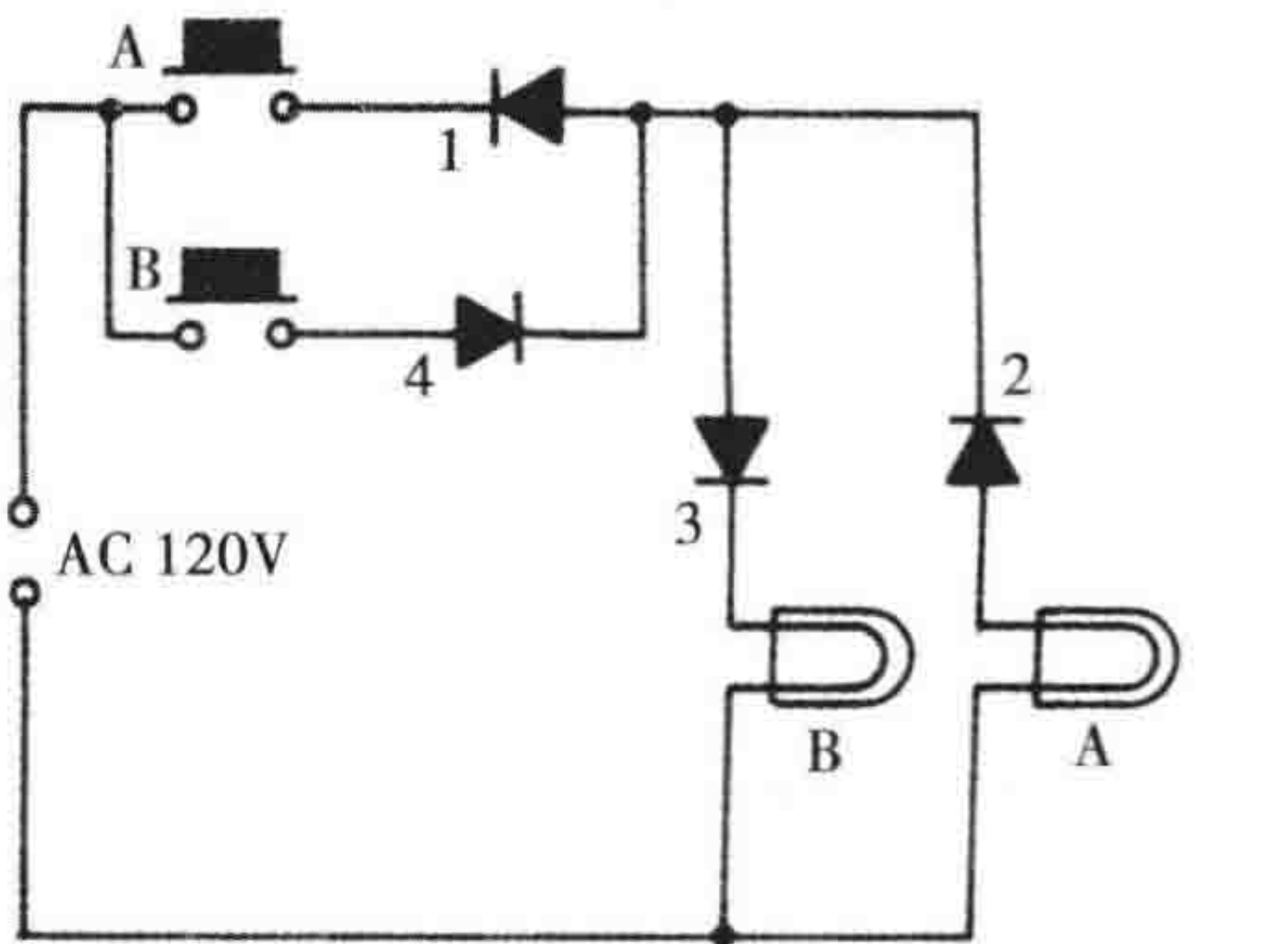


图 I-40 简单的继电器电路



a) 二极管电流控制



b) 二极管控制两盏灯

图 I-41 二极管电路



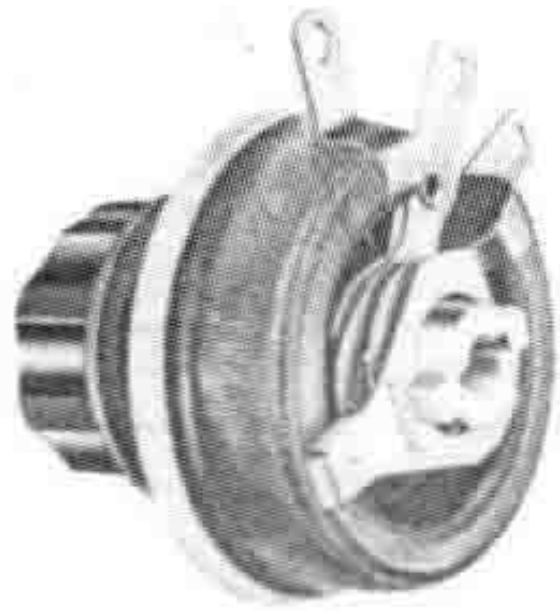


图 I-43 可变绕线电阻

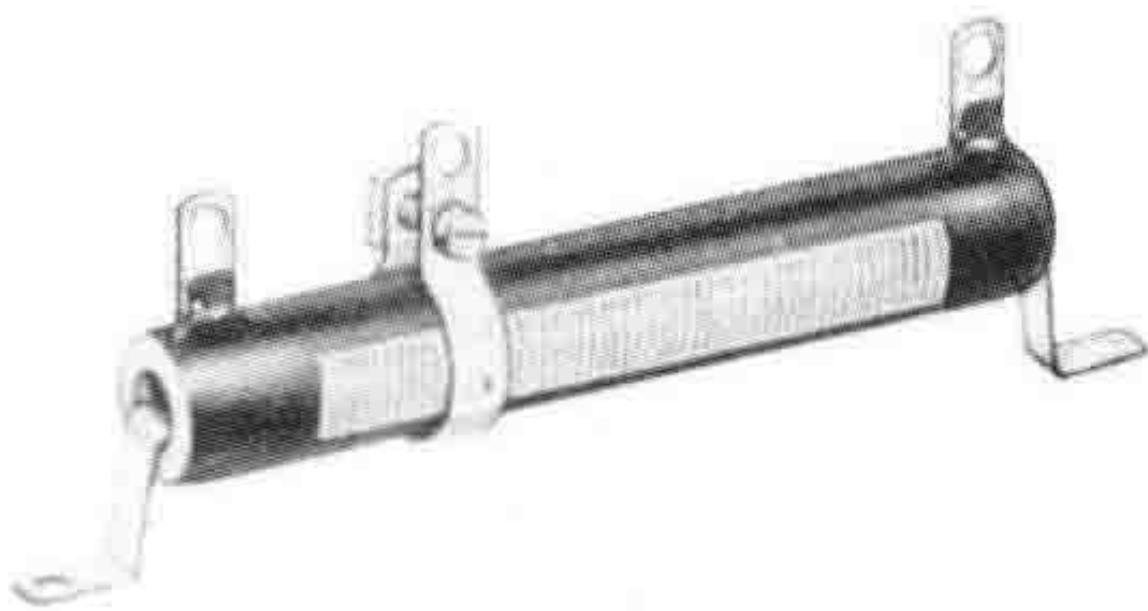


图 I-44 可调绕线电阻

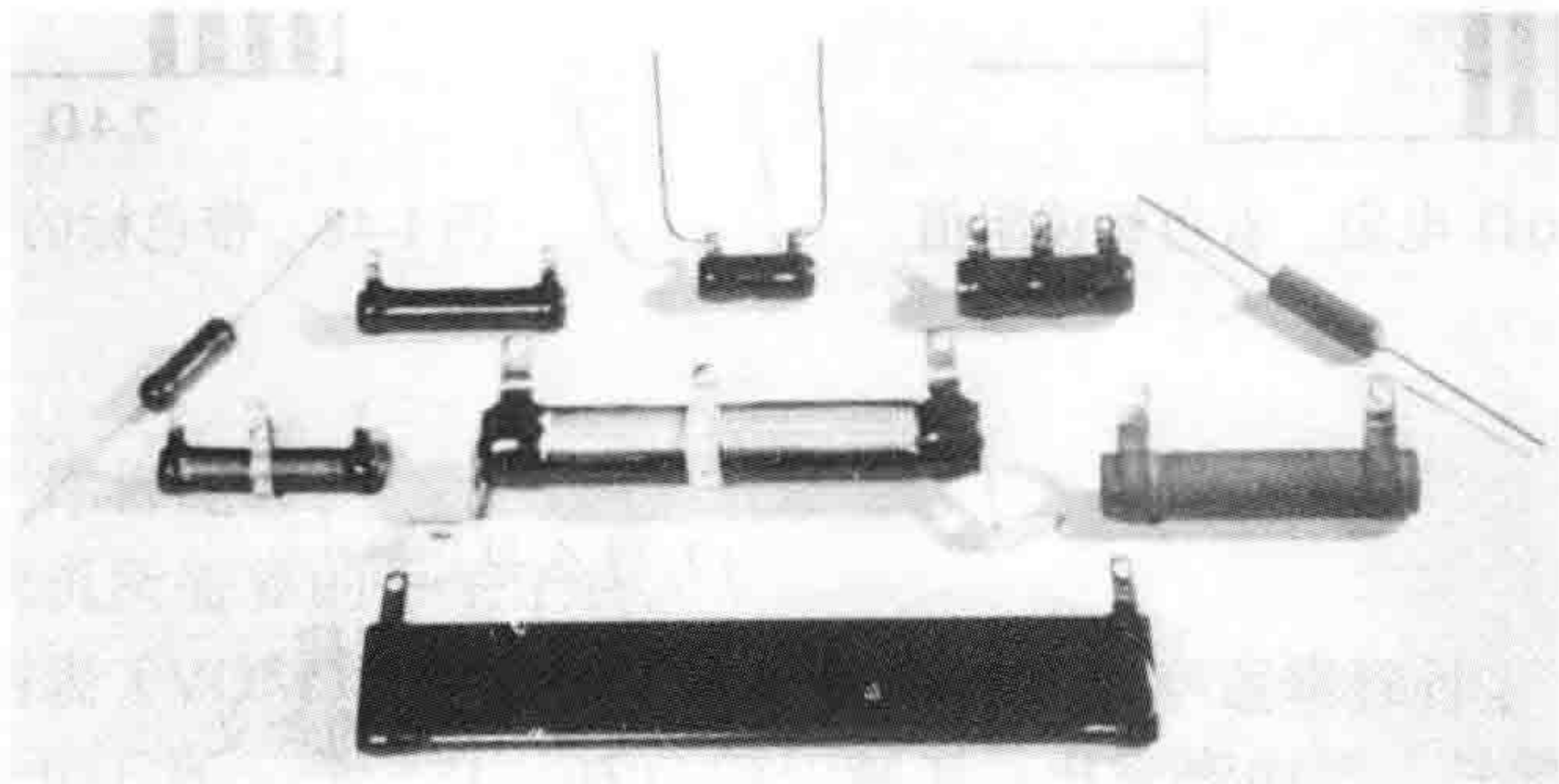


图 I-45 各种尺寸和形状的绕线电阻

大功率绕线电阻有很多尺寸和形状（见图 I-45）。

- **碳质合成电阻** 这类电阻的功耗不超过 2W，通常用在小功率的电子线路中。这类电阻可以通过上面的 3 个或 4 个色环来识别，并通过读取色环并查电阻色标可以确定其阻值。

碳质合成电阻的额定功率与其物理尺寸有关。其功率有 0.25W、0.5W、1W 和 2W。通过使用它们、观察它们、熟悉它们，你应该能够用肉眼直接确定出它们的额定功率。电阻的物理尺寸越大，额定功率就越大（见图 I-46）。

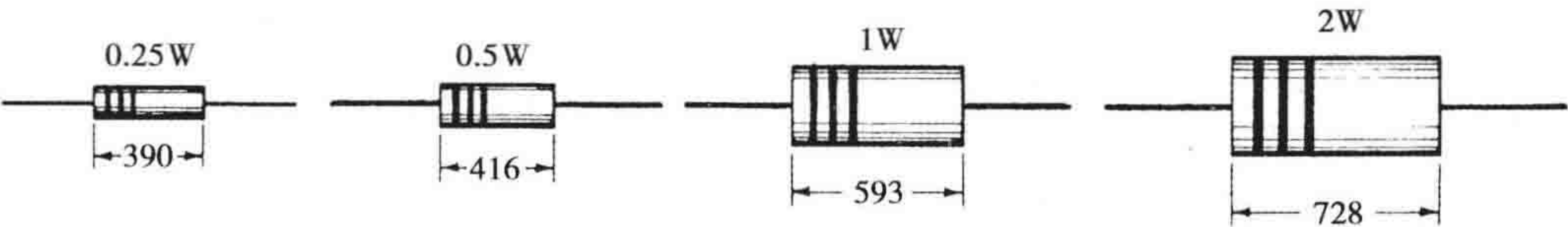


图 I-46 碳质合成电阻

电阻色标

仔细观察碳质合成电阻，色环应该在左边（见图 I-47），从左向右读。根据色标可知，第一个色环给出第一个数字，在图 I-47 中是黄色，或 4；第二个色环给出下一个数字是紫色，或 7；第三个色环代表乘数或者除数。如果第三个色环是色标中 0~9 范围内的颜色，那么它代表了在前两个数字后面应加上零的个数，橙色代表 3，因此图 I-47 所示电阻的阻值为 47 000Ω。

如果没有第四个色环，电阻的阻值与额定值就有 ±20% 的误差（± 表示“加或减”）。如果第四个色环是银色的，则有 ±10% 的误差。如果第四个色环是金色的，则误差为 ±5%。

根据色标规定，当前两个数字（从前两个色环获得的）要除以 10 或者 100 时，银色或金色也可能用在第三个色环上。银色表示除以 100，金色表示除以 10。例如，如果电阻上的色环颜色是红、黄、金以及银，电阻的阻值就是 24 除以 10 即 2.4（±10%）（见图 I-48）。

电阻有非常多的规格和形状。一旦熟悉了电子和电气电路后，你将能够根据它们的形状、规格或标记识别出各种元件。用在这些电路中的产品都在不断地变化，几乎每天都有新



的产品推向市场。要想随时了解这些产品，就需要阅读有关这个行业的文献。电能的每个领域都有自己的杂志，可使相关人员了解和及时更新自己感兴趣的特殊领域。

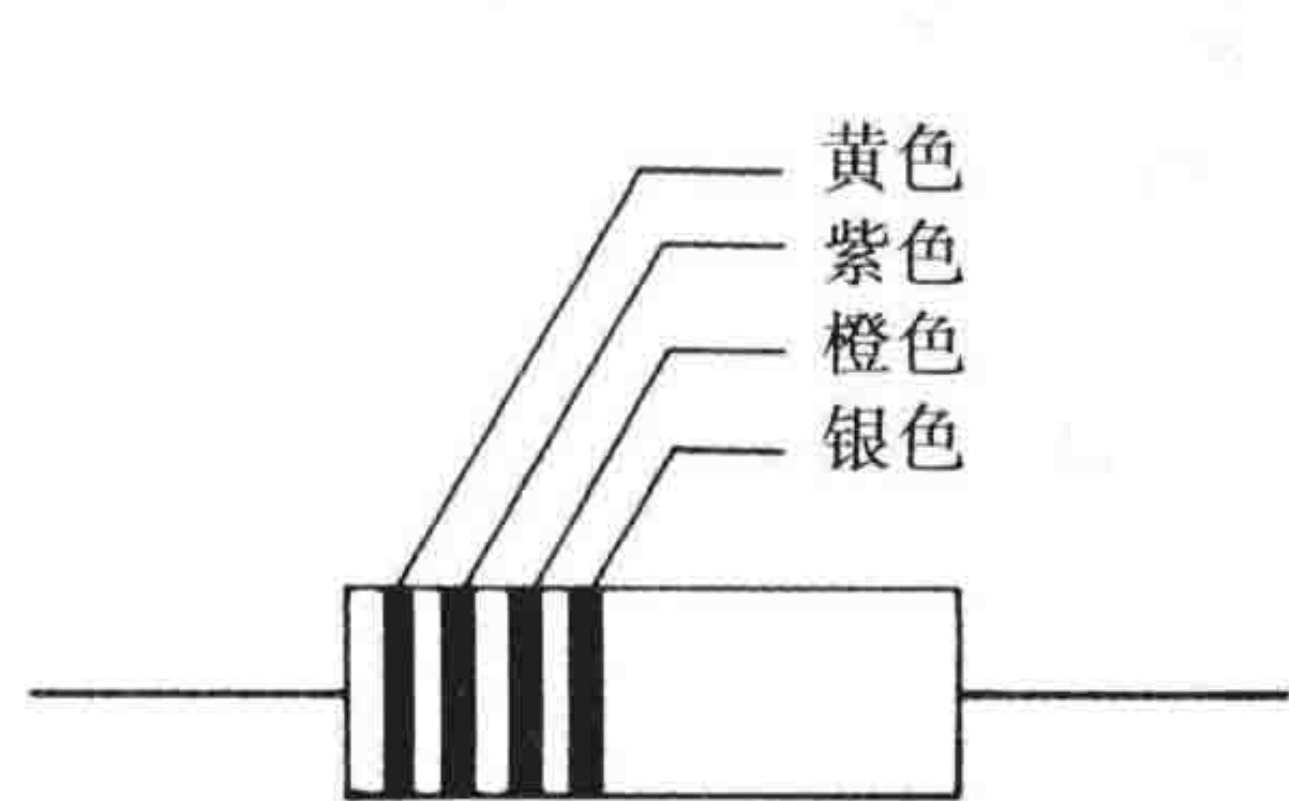


图 I-47 47 000 Ω 电阻。看色标读阻值

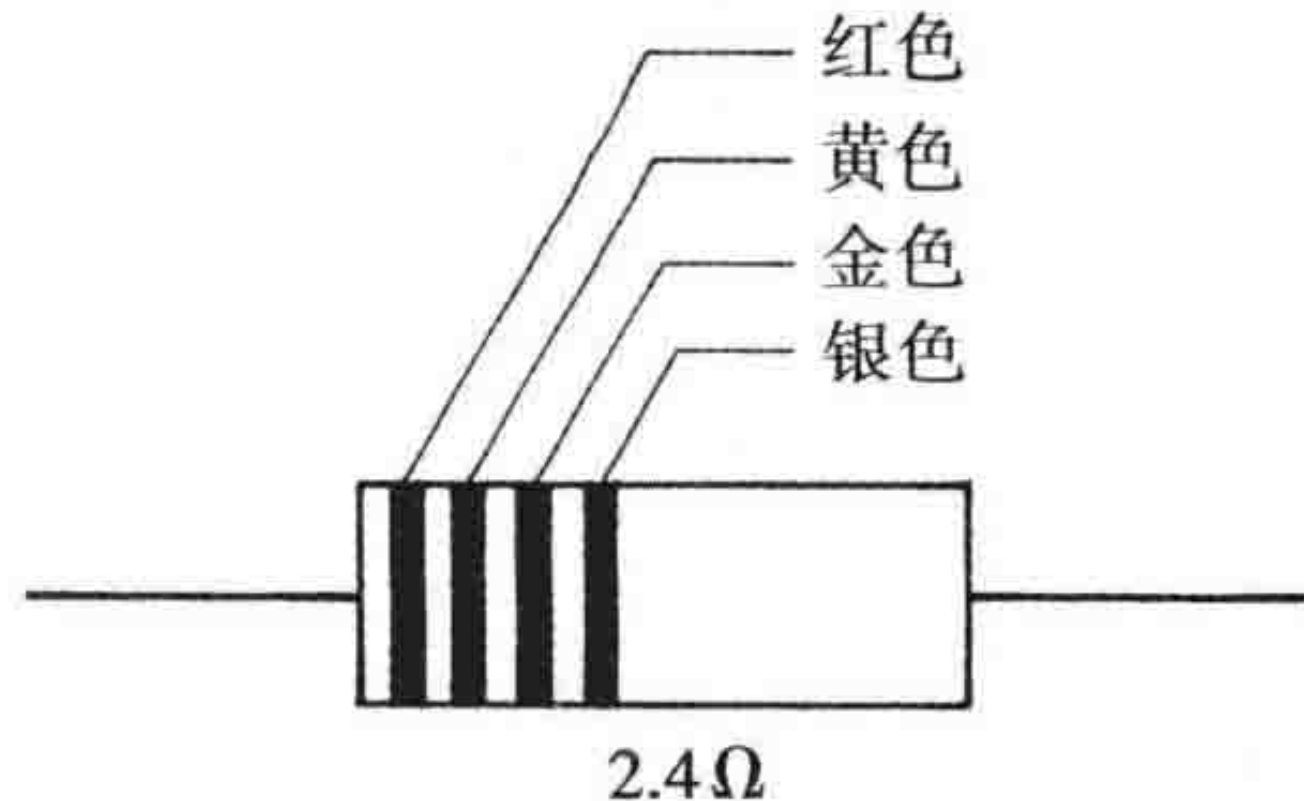


图 I-48 带色标的 2.4 Ω 电阻

1.12 思考题

1. 什么是电？

2. 什么是原子？

3. 什么是元素？

4. 静电和电流的区别是什么？

5. 什么是自由电子？

6. 什么是导体？

7. 什么是绝缘体？

8. 什么是半导体？

9. 举出 6 种产生电的方法。

10. 什么是特种发电机？

11. 电流是用什么测量单位测量的？

12. 电压是用什么测量单位测量的？

13. 电阻是用什么测量单位测量的？

14. 导线规格和它的编号系统之间的关系是什么？

15. 什么是闭合电路？

16. 什么是开路？
17. 什么是短路？

18. 陈述欧姆定律。

19. 定义 1kW 的含义。

20. 什么是千瓦时？

21. 仪表旁路是如何使用的？

22. 将直流仪表转换成交流仪表需要采取什么措施？

23. 欧姆表和电压表之间的区别是什么？

24. 在何处可以使用倾斜线圈型铁片式电能表？

25. SPST、DPDT、SPDT 以及 DPST 分别代表什么？

26. 什么是拨动开关？

27. 三路开关和四路开关的区别是什么？

28. 螺线管的定义是什么？继电器的定义是什么？

29. 什么是二极管？

30. 什么是电阻？



# 第 1 章

## 工具与设备

### 1.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 识别控制电动机所需要的手工工具。
2. 学会操作万用表 (VOM)、示波器、电压检测器、数字逻辑探针。
3. 识别绕接 / 解开工具、弯管机、PVC 管切割刀、电缆弯曲器、导管铰刀。

快速回顾一下电气行业中使用的工具和设备，能让你对它们有一个深刻和更加全面的认识。你将会与其他工具一起使用这些工具。识别和使用这些工具和设备对日常工作是非常必要的。

工具使人们可以做那些徒手不可能做到的事情。购买工具是很昂贵的，而且要维持它们正常工作，在时间和金钱上需要可观的投资。电工需要两类工具：手工工具以及测量用的电工仪表。这两种类型都将在本章讨论。

### 1.2 手工工具

工具既可以放在电工袋里（见图 1-1）也可以放在工具箱里（见图 1-2），保持工具放置有序将省时又省力。如果没有在特定地方放置工具，那么你将会花很多时间去找它们。你不仅需要有一个明确放置工具的地方，而且还要养成习惯，用完后就把它放回原处。当你在工作台上或者一台设备周围使用工具的时候，你需要一个工具箱。

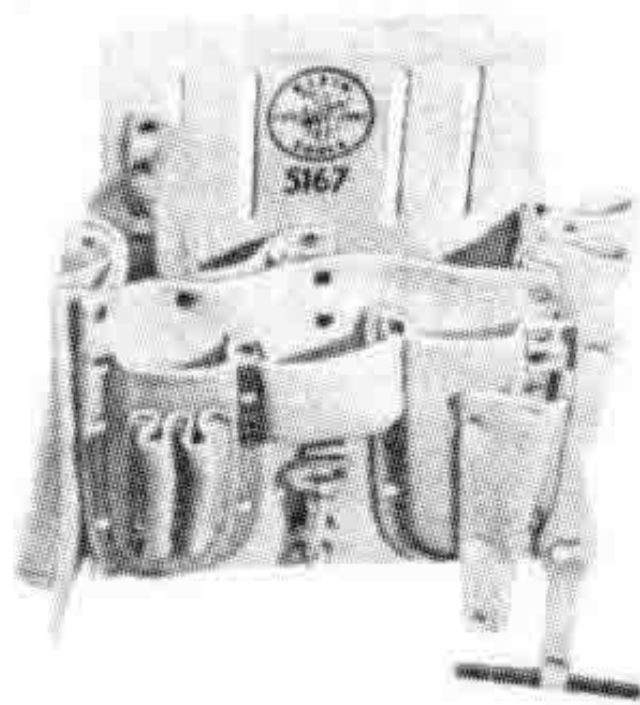


图 1-1 电工袋 (Klein 产品)



图 1-2 手提箱 (Klein 产品)

有些工具可以放在工作台前有工具轮廓的面板上。这样的话，如果有工具不见了，你能知道是哪一个；当使用的时候，你知道用完后把它应该放在哪儿。还可以用有孔挂板或者上面有钉和桩的胶合板悬挂工具。

#### 1.2.1 螺钉旋具

这些工具经常用错。使用它们可以打开油漆罐、打孔、撬东西以及用于其他预定的用途。请记住，工作时要选择合适的工具。



螺钉旋具即俗称的螺丝刀，它经常被误用。最常见的螺丝刀有两种：十字型以及一字型（或称标准型）。螺丝刀的种类千变万化。

一般来说，螺丝刀有木制或塑料手柄，但塑料手柄最为常见。从事与电有关的工作时，塑料手柄是非常有用的。如果保持清洁干燥，塑料手柄可以防止电击。螺丝刀头的尺寸从 0.125in~0.25in (1in=0.025 4m) 不等。螺丝刀杆长为 4~8in，并通常由镀镍铬钒钢制成。当螺钉被夹住或者很难移除的时候，螺丝刀头必须能够承受较大扭力。

使用螺丝刀的时候，最重要的是螺丝刀的刀头和螺钉的槽之间要有很好的配合，这能防止损坏螺钉头和螺丝刀。

还有其他种类的螺丝刀，它们通常用于特殊用途。把螺钉头换成其他类型的主要原因是，为了使螺丝刀与螺钉头配合得更好以及有更好的扭力。图 1-3 所示为其他种类的螺钉头。

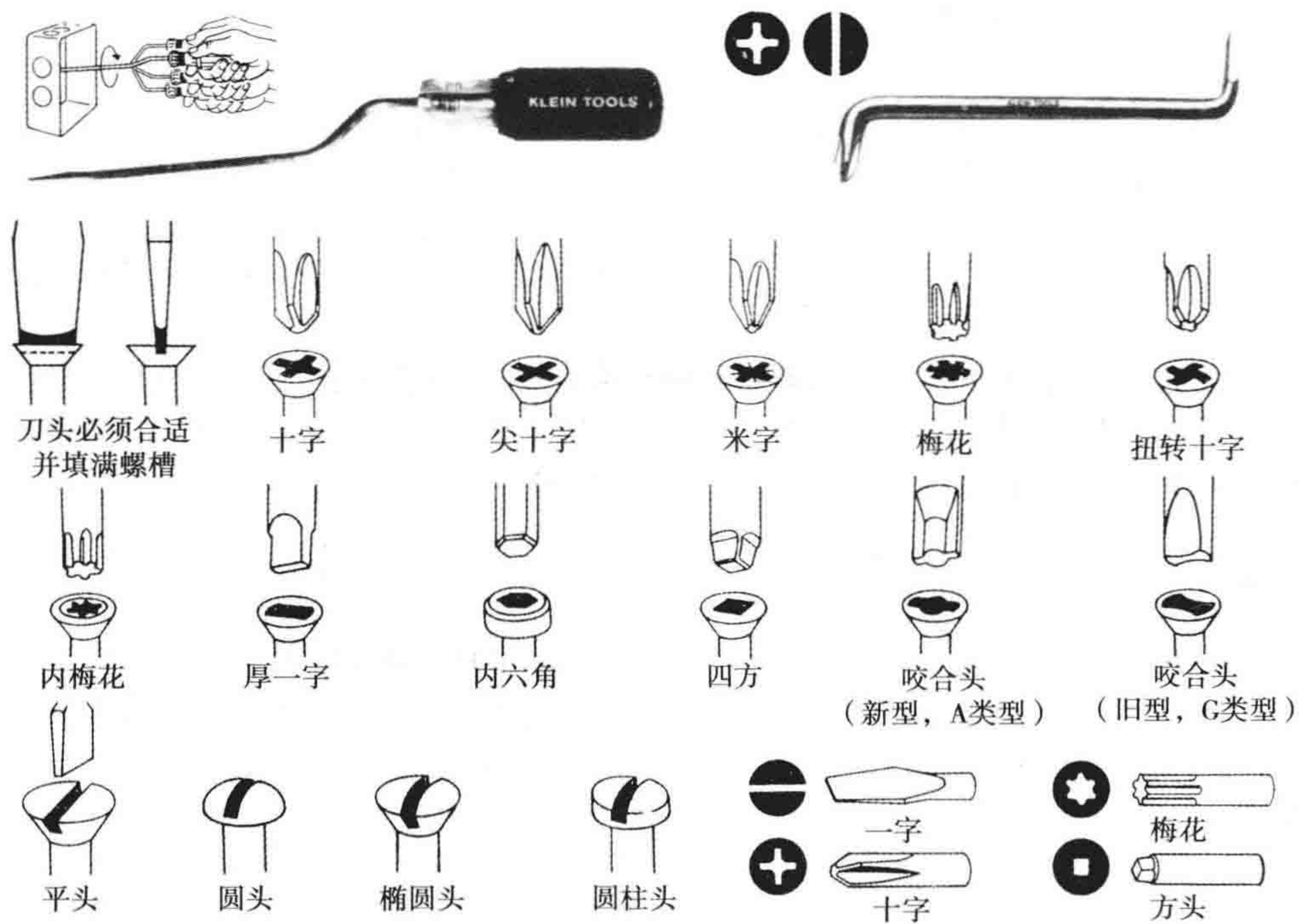


图 1-3 螺钉头的种类 (Klein 产品)

1.2.2 钳子

有多种钳子可用于特殊作业中。图 1-4 所示为各种可用于电气和电子领域的钳子。每种钳子都有特定的用途。

- 1. 4in 小型钳子，用于狭窄场所。
- 2. 4in 剪线钳，用于快速干净的尖端切割。它有一个锥形的钳口和几乎平面的切口，能够剪到末端，并且切割无毛刺。
- 3. 7in 斜嘴钳，用于重型切割。
- 4. 4.5in 细尖嘴钳，刀刃在顶端。
- 5. 5in 薄尖嘴钳，它有光滑的钳口，在内刃上有轻微的斜面。
- 6. 5in 钳子，钳口有细齿，其作用是紧持或弯线。



- 7. 钳口细长带锯齿（6in），它可以进到常规钳口到不了的地方。
- 8. 带侧刀的尖嘴钳（6.5in）。
- 9. 不带侧刀的尖嘴钳（6.5in）。
- 10. 弯嘴钳，钳口有 60° 弯曲（5in），带细齿，可对细线进行操作。
- 11. 8in 上下有齿带侧刀的工具钳。
- 12. 8in 镀铬自动剥线组合钳，通用。
- 13. 钳口有 4 个位置可调整，10in 水泵钳，带锻造螺纹，钳口有齿并且有锁定设计。

1.2.3 锤子

和其他手工工具一样，锤子也有很多类型。有 3 种最常见的类型。羊角锤（见图 1-5）用来拔钉子，并且主要用在木材上，它有用于拔钉子的起钉槽。它是锤子中最常用的类型，但在多数工作中仅在圆头锤无法使用的地方才偶尔使用它。

圆头锤（见图 1-6）有一个圆形的顶部和一个平的大直径的底面。通常使用在机械工作中。

在有些情况下，需要使用大锤来强制连接或者进行微小的调整。有软表面和硬表面的大锤。皮革、塑料、橡胶、木材或铅制的大锤可用于各种各样的工作中（见图 1-7）。在大多数情况下，橡胶大锤使你能够完成工作而不损伤被击打的金属表面。记住要小心自己的锤子或者大锤的击打，你应该使用护目用具。

下述正确使用锤子的规则适用于所有的情况：

- 1. 垂直击打，避免侧击。
  - 2. 确保锤子的击打面比被击打的工具（凿子、打孔楔子等）大 0.375in。锤面应稍稍超出倾斜边缘。
  - 3. 切勿使用一个锤子击打另一个锤子。
  - 4. 始终使用尺寸和重量合适的锤子进行工作。
  - 5. 切勿用锤子的侧面进行击打。
  - 6. 切勿使用手柄松动或者损坏的锤子，要及时更换手柄。
  - 7. 丢弃任何有缺口、裂缝、凹痕、凸起或过度磨损的锤子。换个锤子，不要试图修复它。
  - 8. 始终佩戴防护眼镜来保护你的眼睛。
- 安全使用说明参见锤子上的标签。

1.2.4 钢锯

钢锯在切割金属的时候特别有用。图 1-8 显示了钢锯条的安装。锯条如果不能被恰当地放入并固定就很容易折断，所以一旦锯条齿尖指向正确的方向（远离手柄），就固定它。请注意切割应发生在钢锯被

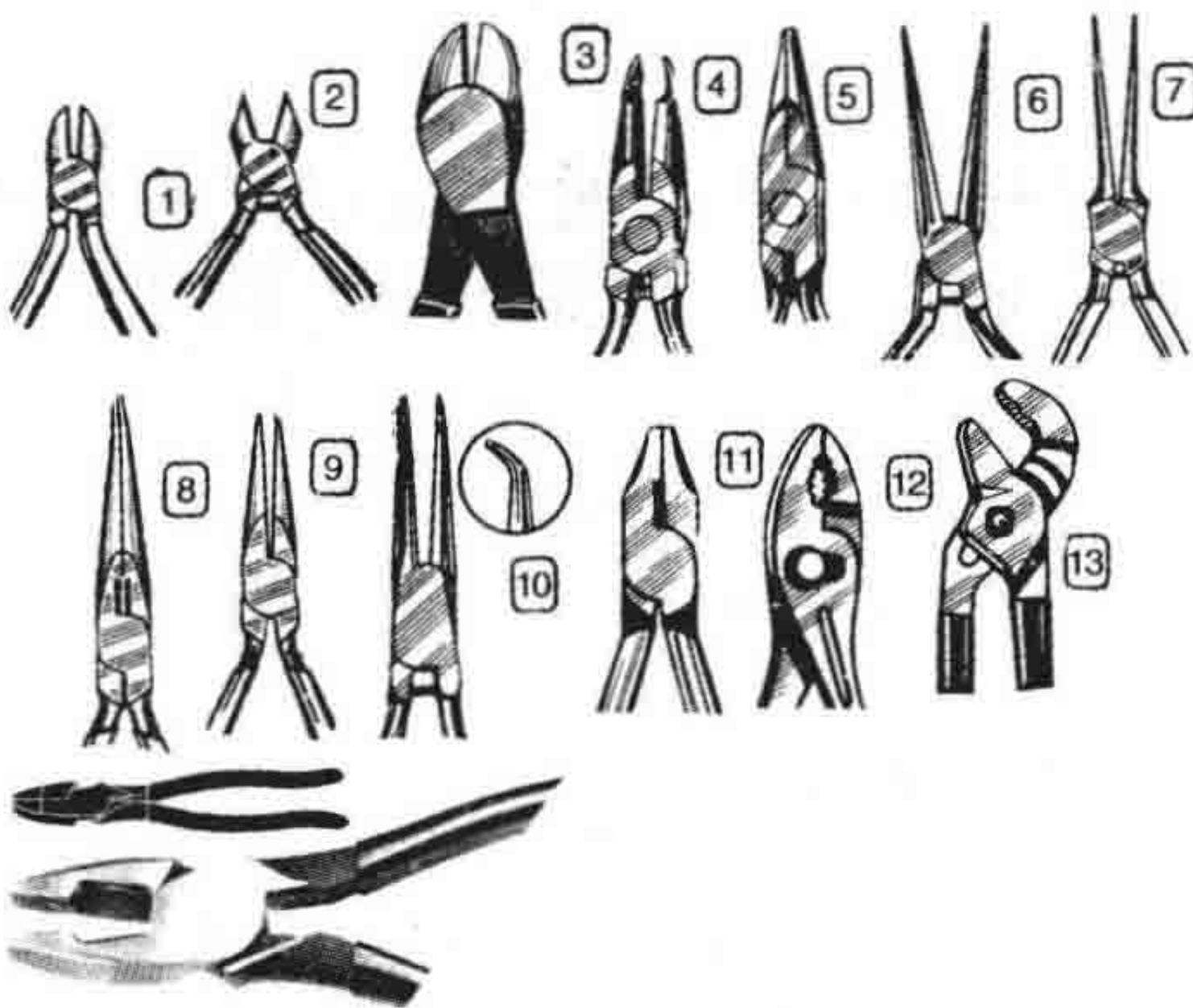


图 1-4 各种类型的钳子



图 1-5 羊角锤（Klein 产品）

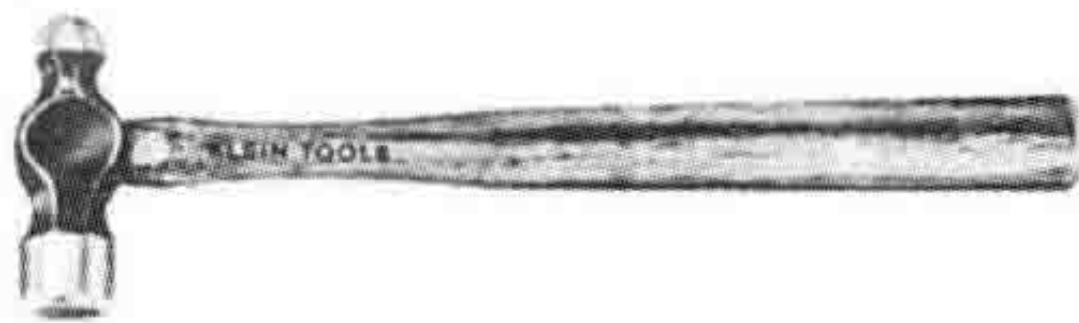


图 1-6 圆头锤（Klein 产品）



图 1-7 塑料头大锤（Klein 产品）

注意：锤子可能是所有手工工具中最常滥用和误用的。不正确地使用锤子会导致伤害，使用损坏的锤子也会导致伤害，将锤子用在不是为它们特别设计的工作上也会导致伤害。



推向远离操作者的方向。当把钢锯拉回到起始位置的时候，要把锯抬起来。要控制好锯条，因为在锯条通过金属切口拉回时，会损坏锯条。

锯条的尺寸有 8in、10in 和 12in。通常可以调整钢锯尺寸，以适应这 3 种长度的锯条。钢锯锯条的锯齿间距也有很多种尺寸。用每英寸有 14 齿的锯条切割 1in 或更厚的铸铁、机件钢、黄铜、铜、铝、青铜或石板的截面；用每英寸有 18 齿的锯条切割 0.25~1in 厚的退火工具钢、高速钢、钢轨、青铜、铝、轻型建筑型钢和铜的截面；用每英寸有 24 齿的锯条用于切割 0.125~0.25in 厚的材料截面，通常这些材料最好是铁、钢、黄铜、铜管、锻铁管、钻杆、导管、建筑型钢和金属边饰。每英寸有 32 齿的锯条所切割的材料与每英寸有 24 齿的锯条所切割的推荐材料相似。

1.2.5 扳手

扳手用于拧紧或松动螺母和螺栓。两类常用的扳手是活扳手和呆扳手。活扳手有一个可以调整的活动钳口以适应不同尺寸的螺母和螺栓，其调节范围为 4~18in，以适应不同类型的工作（见图 1-9）。使用活扳手的时候，有两个原则要记住：

- 1. 将扳手放在螺母或者螺栓上时，要使固定钳口承受作用力。
- 2. 收紧活动钳口，使扳手紧紧地与螺母或者螺栓相接触（见图 1-10）。

呆扳手有固定的开口以适应螺母或螺栓帽。图 1-11 所示为一个呆扳手，图 1-12 所示为梅花呆扳手。这些扳手有不同的组合，也有米制尺寸的产品。开口尺寸通常比扳手上标注的尺寸大 0.005~0.015in，这样可以使得扳手很容易地套进螺母或螺栓帽中。但无论如何要确保扳手能很好地与螺母或者螺栓帽相适应（见图 1-13），否则会损坏螺母或螺栓帽。拉扳手比推扳手更安全。如果你对扳手施加压力，螺母或螺栓帽突然松脱了，有可能伤到你的手。如果使用扳手必须推而不是拉，那么要用手掌推扳手，这样即使滑脱了指关节也不会受伤。

**L 型内六角扳手** L 型内六角扳手可对无帽螺钉进行操作。这些螺钉，如固定螺钉（见图 1-14），用在很多设备上。L 型内六角扳手有很多种尺寸（见图 1-15），以适用于各种固定螺钉。一整套 L 型内六角扳手对从事电动机工作的人来说是非常有用的。



图 1-8 安装钢锯条

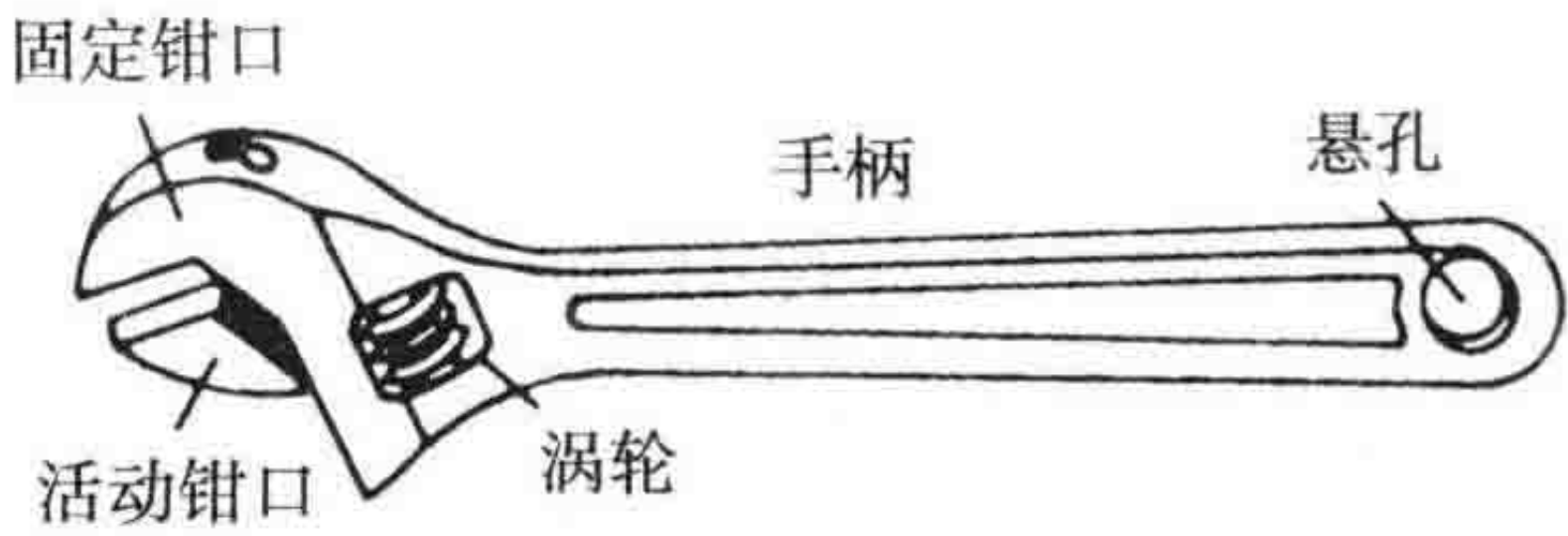


图 1-9 活扳手（Klein 产品）

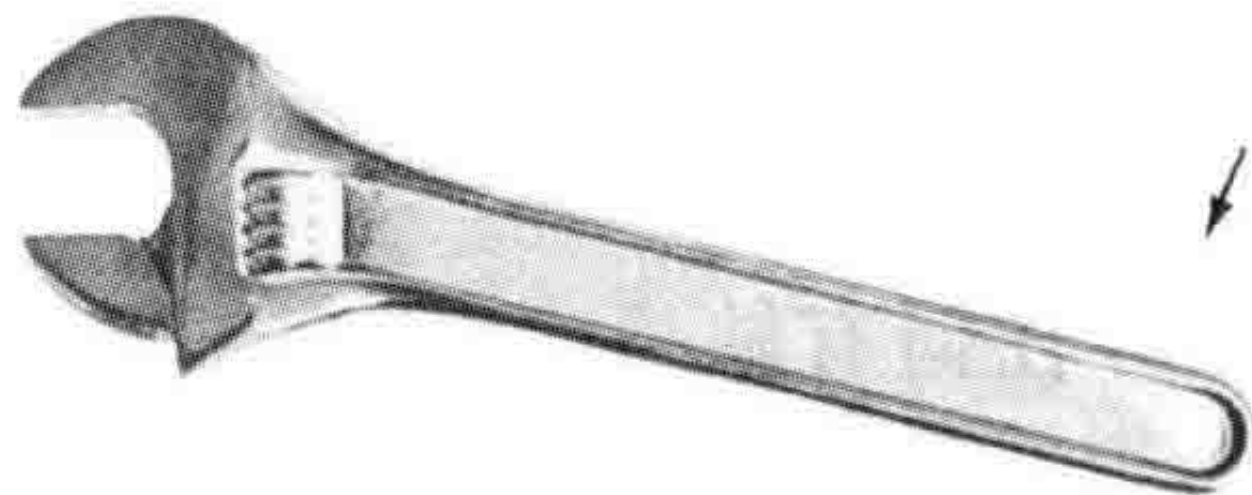


图 1-10 注意施力方向

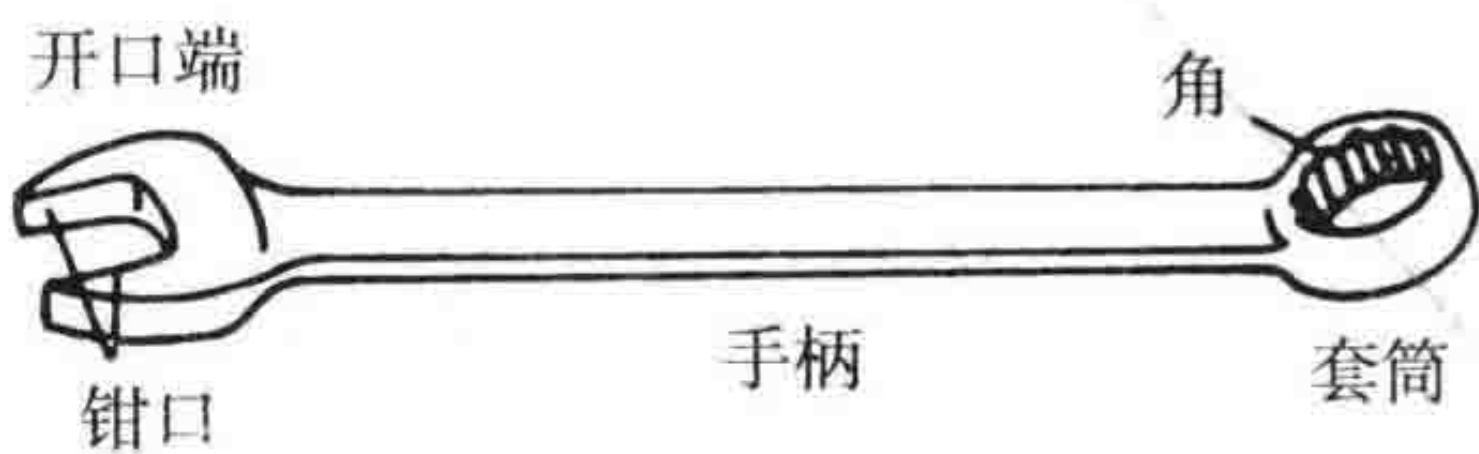


图 1-11 呆扳手和梅花套筒扳手的组合（Klein 产品）



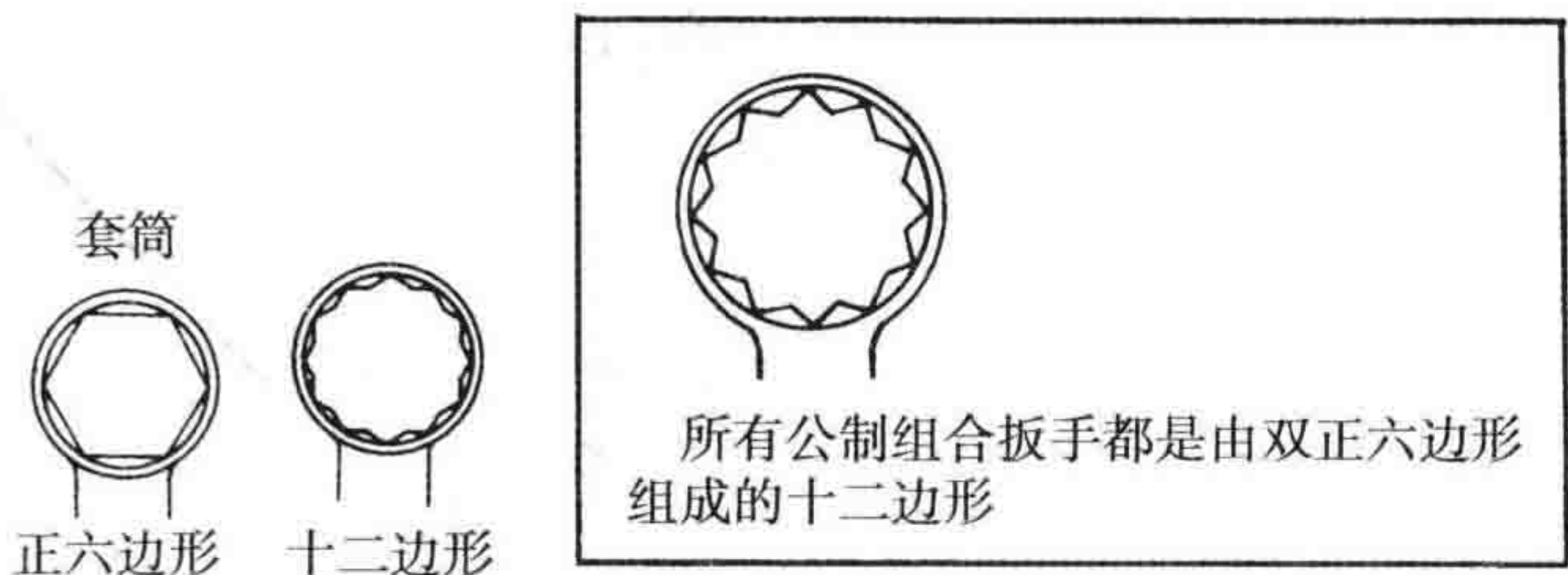


图 1-12 梅花扳手 (Klein 产品)

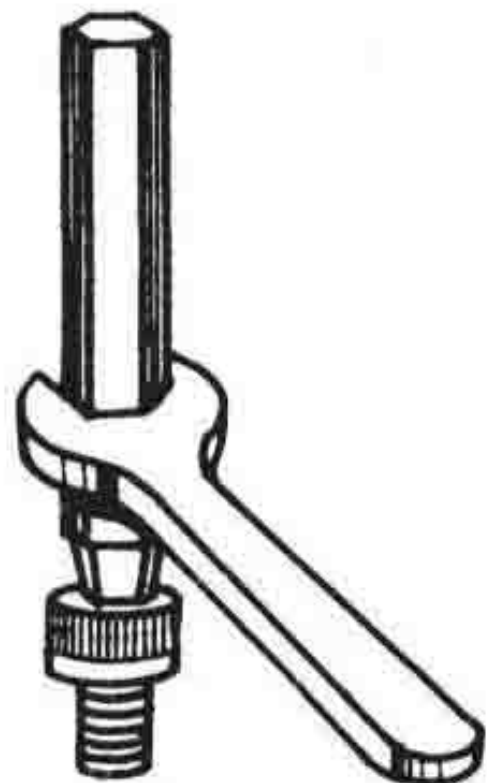


图 1-13 扳手的正确使用

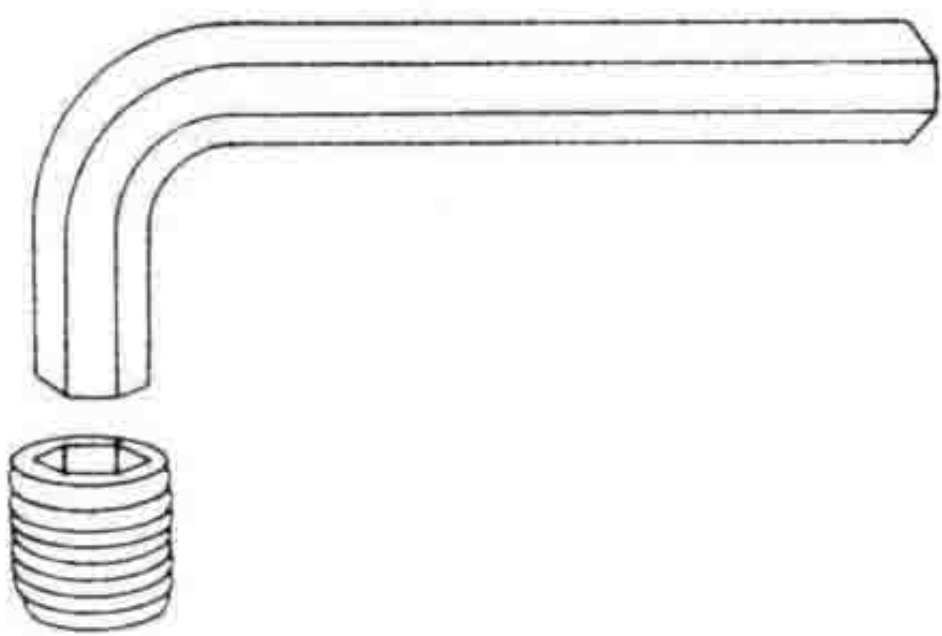


图 1-14 L 型内六角扳手和固定螺钉

L 型内六角扳手



图 1-15 内六角扳手套装

有一种固定螺钉的头上有一个内六角形的孔，但是其形状使得内六角形扳手很难适合它。新的六角套筒扳手套装的尺寸在 0.093 75~0.25in 之间，套内装中有 8 个螺钉旋具（见图 1-16）。

**套筒扳手** 套筒扳手可以用在梅花扳手或开口扳手不方便使用的地方。很容易就能从棘轮上取下套筒换成其他尺寸的。套筒有十二角和六角设计，以确保你对每一个螺母或螺栓帽使用正确的尺寸。套筒扳手也有米制尺寸的。图 1-17 显示了一些套筒、扩展杆、快速摇柄和万向接头，这些配件使得这种套筒扳手几乎在任何场所都能使用。

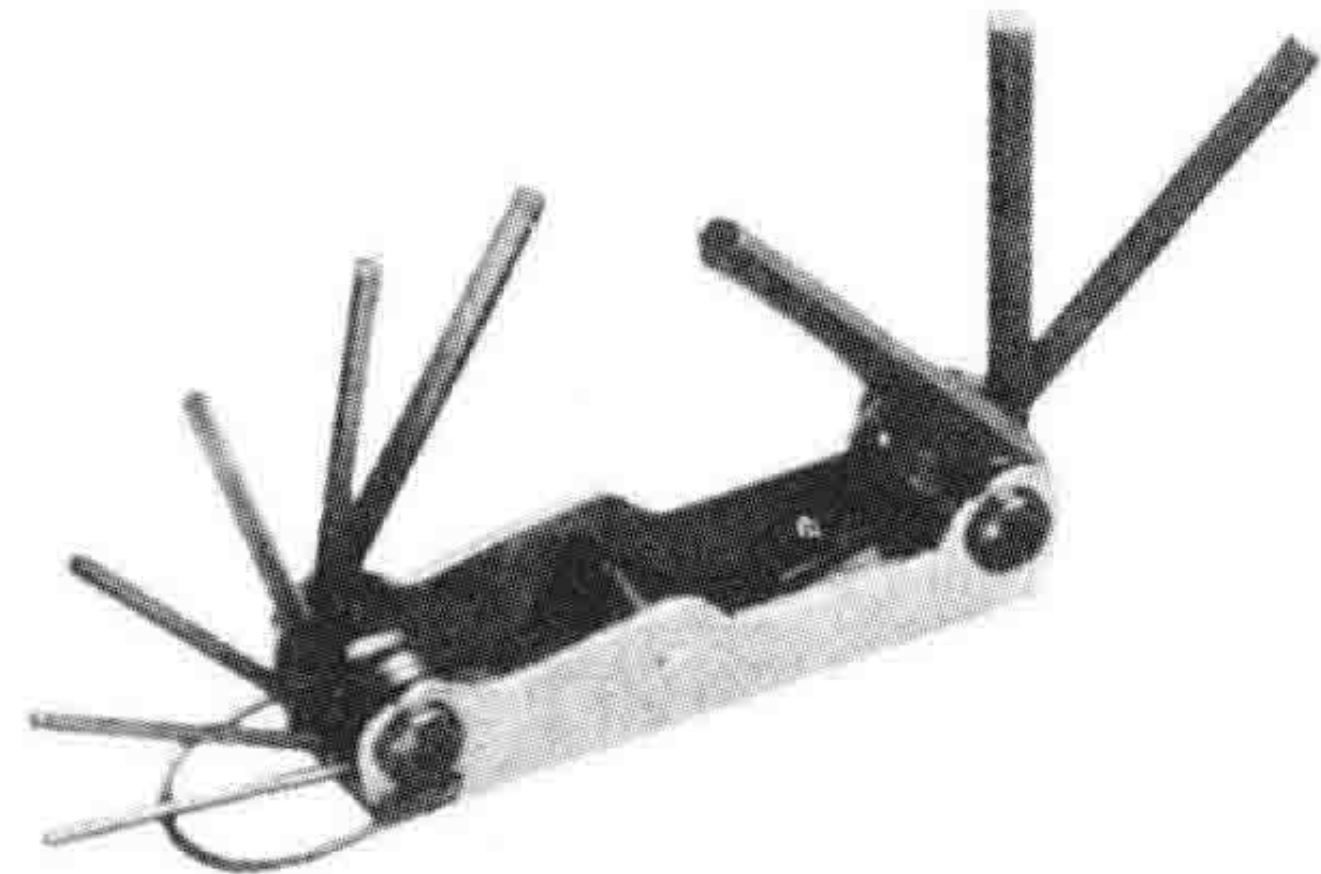


图 1-16 L 型内六角扳手套装 (Klein 产品)

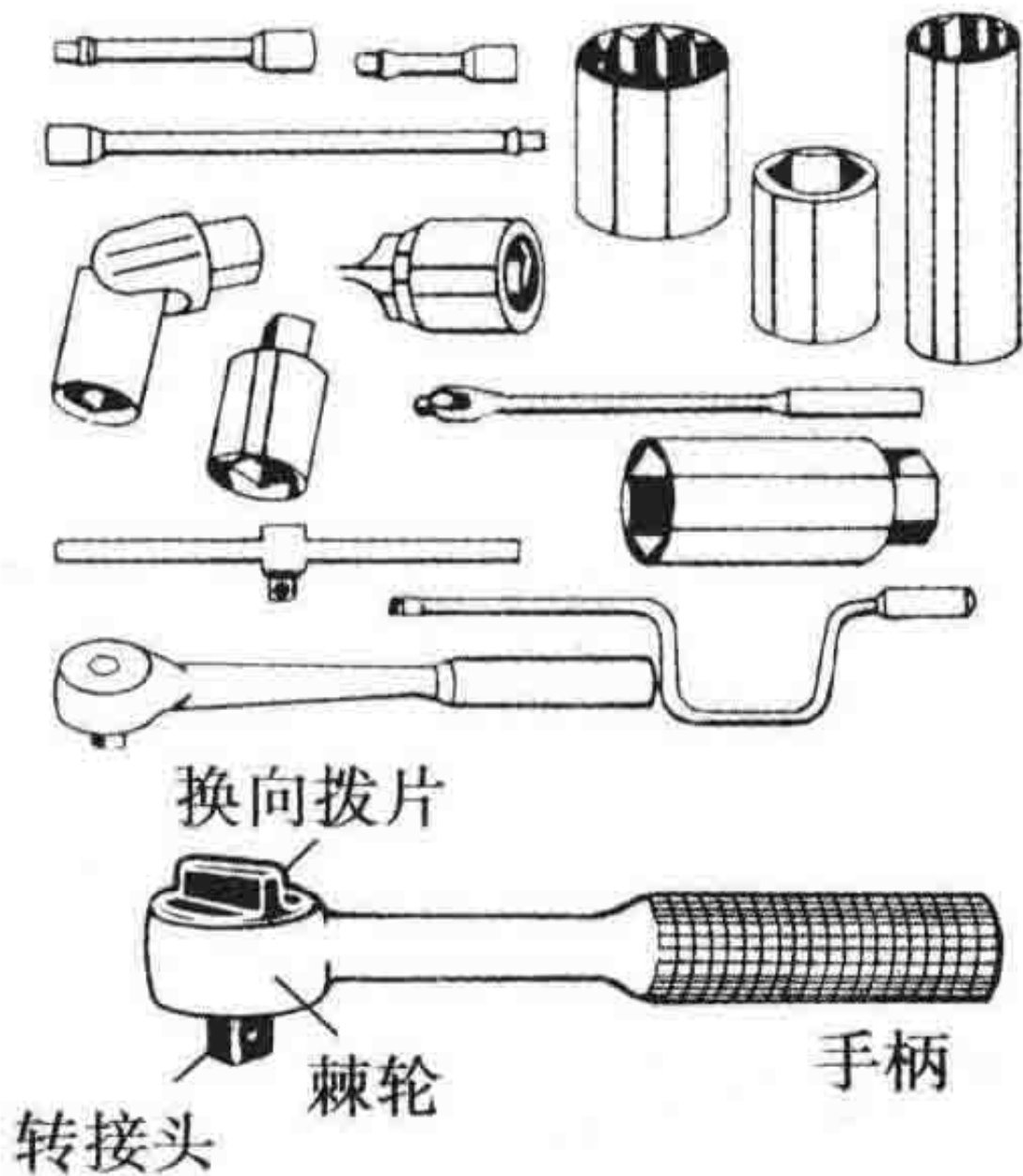


图 1-17 套筒扳手套装 (Klein 产品)

**扭矩扳手** 扭矩扳手的扭矩可调，可以给各种螺栓和螺母施加恰当的扭矩，以适应各种套筒工具。两种最常见的扭矩扳手是 0.375in 和 0.5in 扳手。扭矩扳手的扭矩单位是磅力英寸 (lbf · in) 或磅力英尺 (lbf · ft)<sup>⊖</sup>。根据需要施加的扭矩选择合适的扳手。扭矩扳手有多种长度的手柄，通常情况下，扳手越长，扳手的扭矩越大。图 1-18 所示为典型的扭矩扳手。

1.2.6 螺母旋具

螺母旋具无非是在螺钉旋具手柄上安装了一个套筒。对于大多数钳工来说，它是一个非

⊖ 1 lbf · ft=1.355 82 N · m, 1 lbf · in=0.112 985 N · m。



常好的工具。螺母旋具有各种各样的尺寸，并且通常把尺寸印在手柄上。有时候它们也根据尺寸用色码来标记。图 1-19 显示了一组螺母旋具。

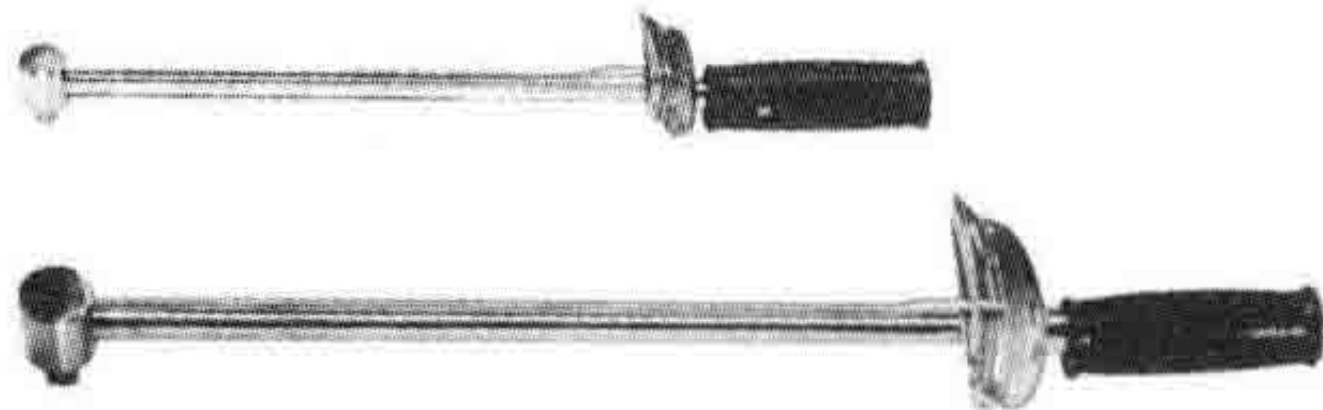


图 1-18 扭矩扳手（Klein 和 Allen-Bradley 产品）

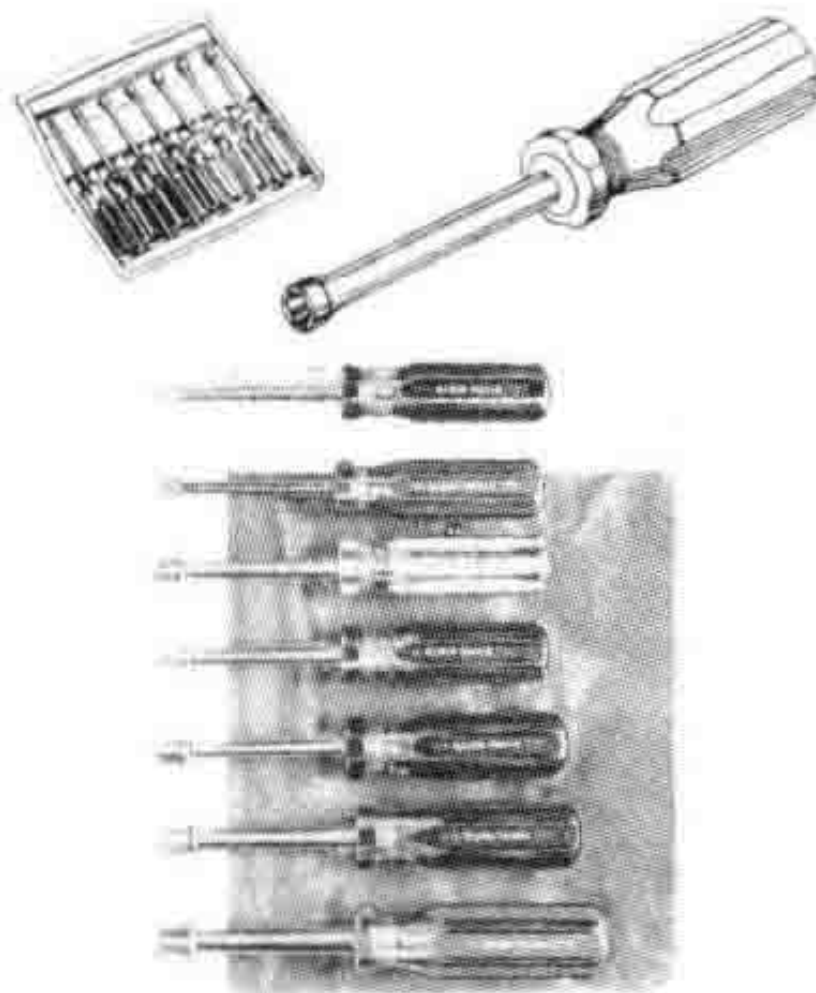


图 1-19 螺母旋具套装

1.2.7 轴承和衬套工具

在维修电动机时，有时候需要从电动机端盖上拆除轴承。轴承工具（如图 1-20 所示）使得这项工作变得简单了。图 1-20 中给出了 9 个内径在 0.5~1in 的转接器，用它们可以简单快速地拆除或安装电动机的轴承或衬套。轴承工具消除了损坏轴承和端盖的可能性。

某些轴承的拆卸需要用一种截然不同的方法。在某些情况下，滑轮或齿轮拆卸器可以用于拆除卡在电动机轴上的轴承。这些拆卸器有各种各样的尺寸和样式（见图 1-21）。

衬套工具用于拆除或安装电动机的衬套，使用它们既方便又省时。一整套工具通常有 20 个部件：1 个箱子、3 个旋柄和 16 个长度在 0.375~1in 的转接器（见图 1-22）。

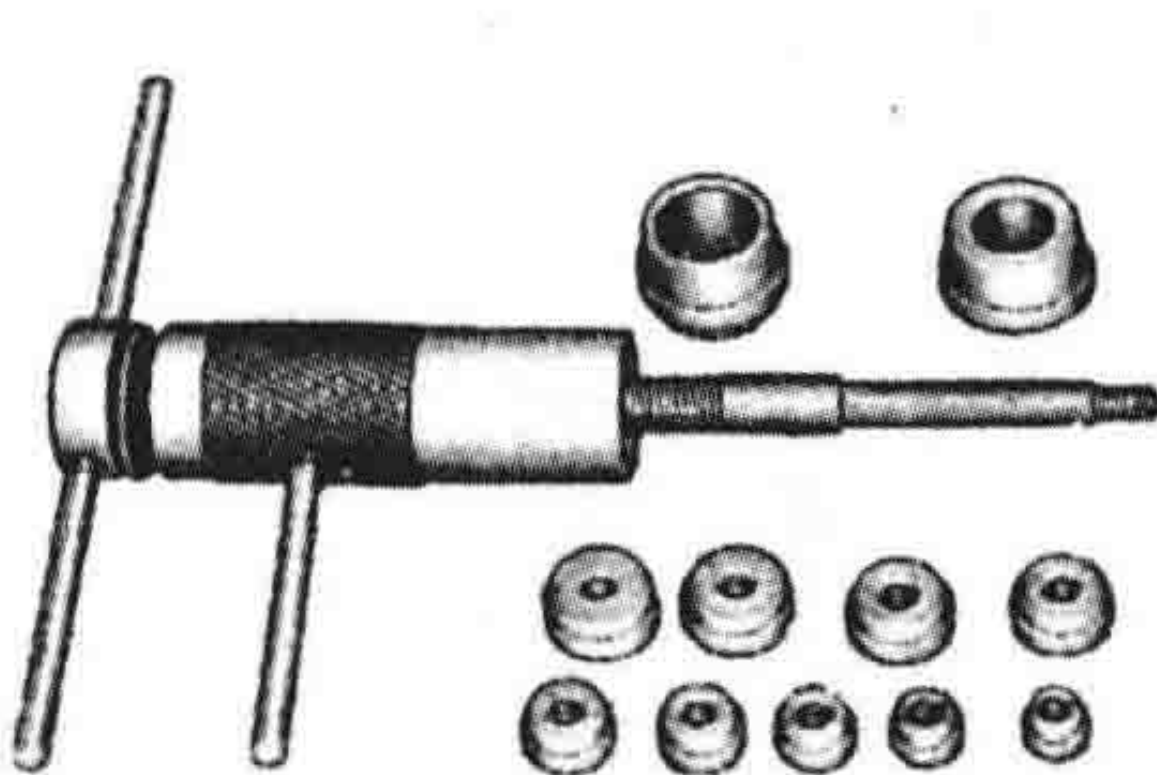


图 1-20 带转接器的轴承工具

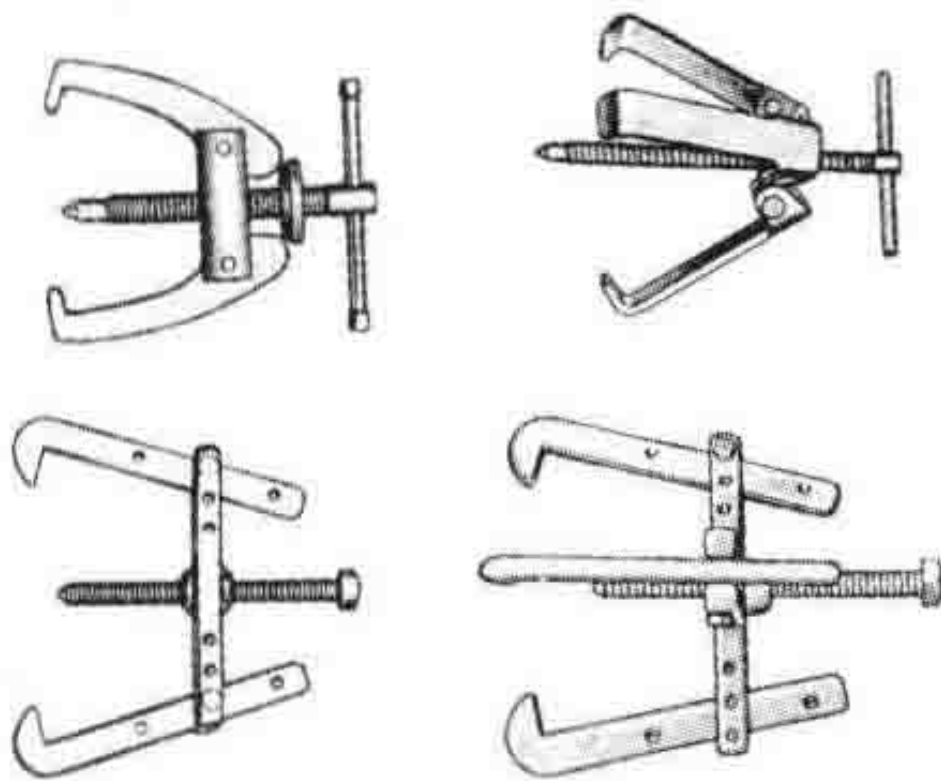


图 1-21 齿轮拆卸器

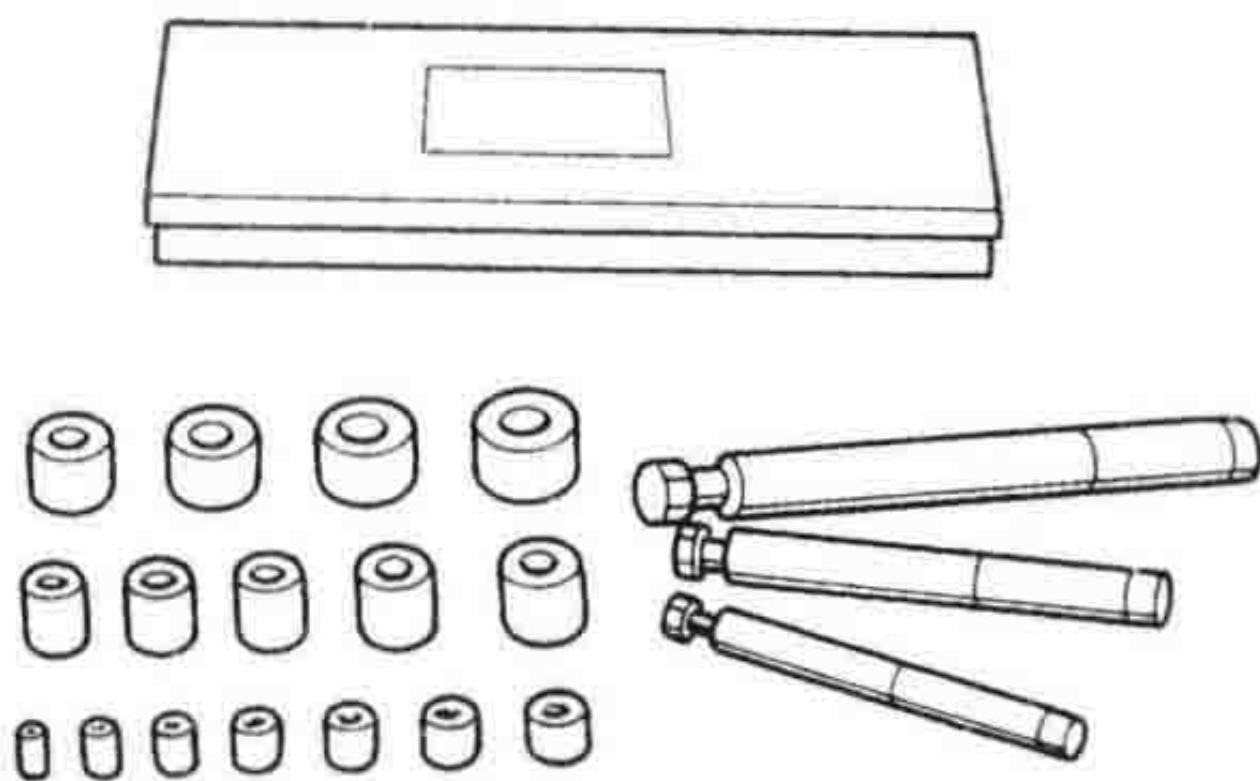


图 1-22 衬套工具套装

1.2.8 无焊接插件紧线钳

无焊接插件紧线钳（见图 1-23）在电动机维修和维护工作中非常有用。为了防止电动机振动，需要接插件有很好的连接。有一些接插件是为电气设备而设计的。相应的工具和各种尺寸的接插件和接线耳套件在大多数供电间都有。

1.2.9 电烙铁

在需要焊接以承受振动和防止腐蚀的时候，电烙铁（见图 1-24）是非常有用的。在市场上可以见到从 15W 到超过 600W 的电烙铁。商店里最好的通用型电烙铁的功率大约为 100W，通常用在很多使用较粗导线的地方。小的 15W 电烙铁在印制电路板电子设备中非常有用。





图 1-23 无焊接插件紧线钳 (Klein 产品)

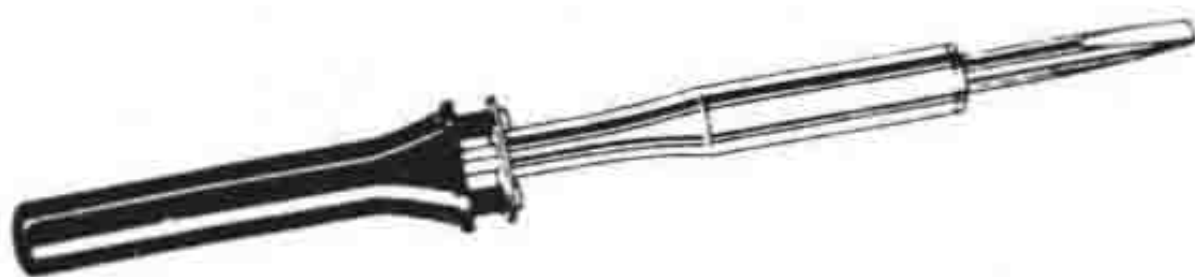


图 1-24 电烙铁

1.3 焊枪

在快速断开焊点时，使用焊枪（见图 1-25）非常方便。操作人员加热焊枪头，然后将焊锡放在焊枪头上，并让焊锡在焊接点上冷却，就产生了冷焊点。焊接在金属表面的电线及其连接线必须受热到足够高的温度以便来熔化焊锡，这意味着焊枪必须在一个点接触足够长的时间来使焊接点受热，达到能使焊锡熔化的温度。其秘诀在于加热焊接点材料，而不是焊锡。

不要把焊枪头放在焊接点太长时间。你一定不想让焊枪头过度加热印制电路板，导致铜箔从电路板上翘起。

1.3.1 线规

线规用于测量导线的尺寸。线规上的数字（见图 1-26）表示导线的尺寸。然而要记住，聚醋酸甲基乙烯脂绝缘线的线径尺寸读数比实际线径尺寸要稍大一号。还要记住导线在线规上要穿过测量槽。上面的孔是为了使导线通过的，而测量槽则完成测量。与线规数字对应的十进制数通常印在金属盘相应线规数字的反面。每一个工具箱中都需要有一个线规。



图 1-25 焊枪

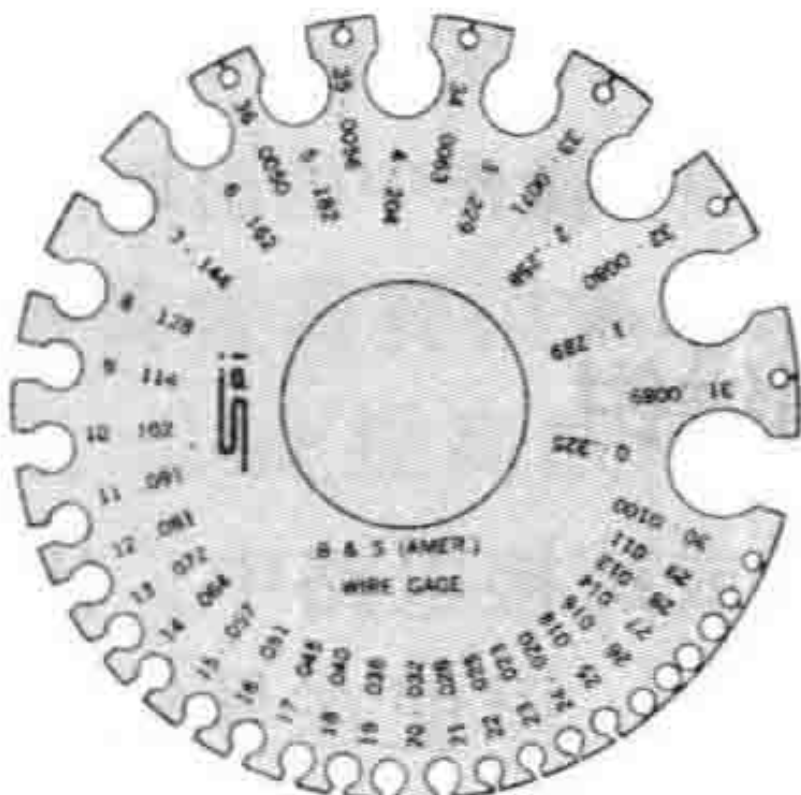


图 1-26 线规

1.3.2 熔丝拔钳

熔丝拔钳是由酚醛树脂材料制成的，其形状让你可以用它们拔出至少两种尺寸的熔丝。用熔丝拔钳钳住圆柱体熔丝，并从支架上将其拔出，这样可以保证人不与带电回路相接触（见图 1-27）。

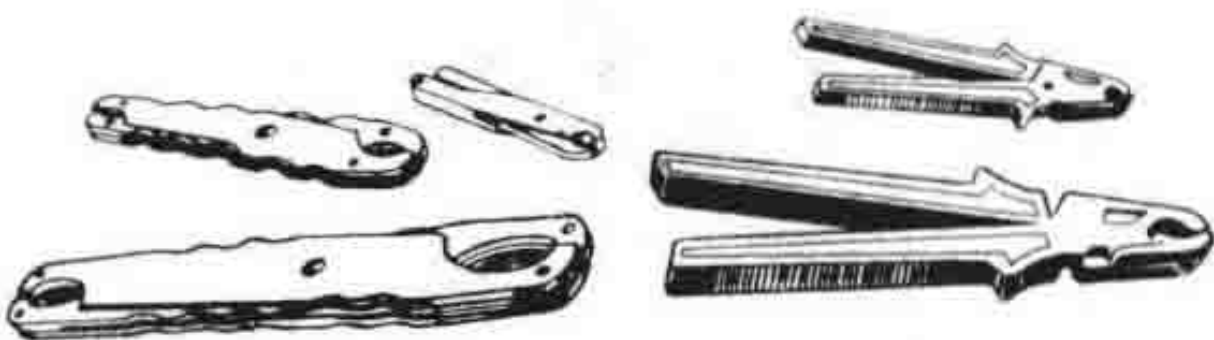


图 1-27 熔丝拔钳

1.3.3 转速计

为了检测电动机的旋转速度，最好使用手持式转速计。手持式转速计有模拟和数字两种形式，转速以转每分 (r/min) 表示（见图 1-28）。转速计是一个很有用的测量电动机转速的装置。它能帮助你查找出现问题的可能位置，显示维修后的电动机是否正常运行。

如图 1-28 所示，轴速将在转速计上以数字形式显示。转速计可以放在电动机轴的开口端。转速计可以用在电动机、电锯、压缩机、风扇、水泵、研磨机以及其他设备上。锥形探头



图 1-28 转速计 (Biddle 产品)



放在轴的中心孔上，杯状探头用于平头轴。已有利用闪光来测量每分钟旋转次数的频闪转速计了，但是这类转速计价格昂贵。

1.3.4 出坯杆

出坯杆有很多种尺寸。使用它们可以在金属箱上打孔，以安装各种控制装置。它们有从使用扳手的简单穿孔机到使用大型液压装置在厚金属上打孔的液压机（见图 1-29）。

1.3.5 穿线器

为了将导线穿过导管或墙，或者将导线拉进接线盒，使用穿线器是非常有必要的（见图 1-30）。

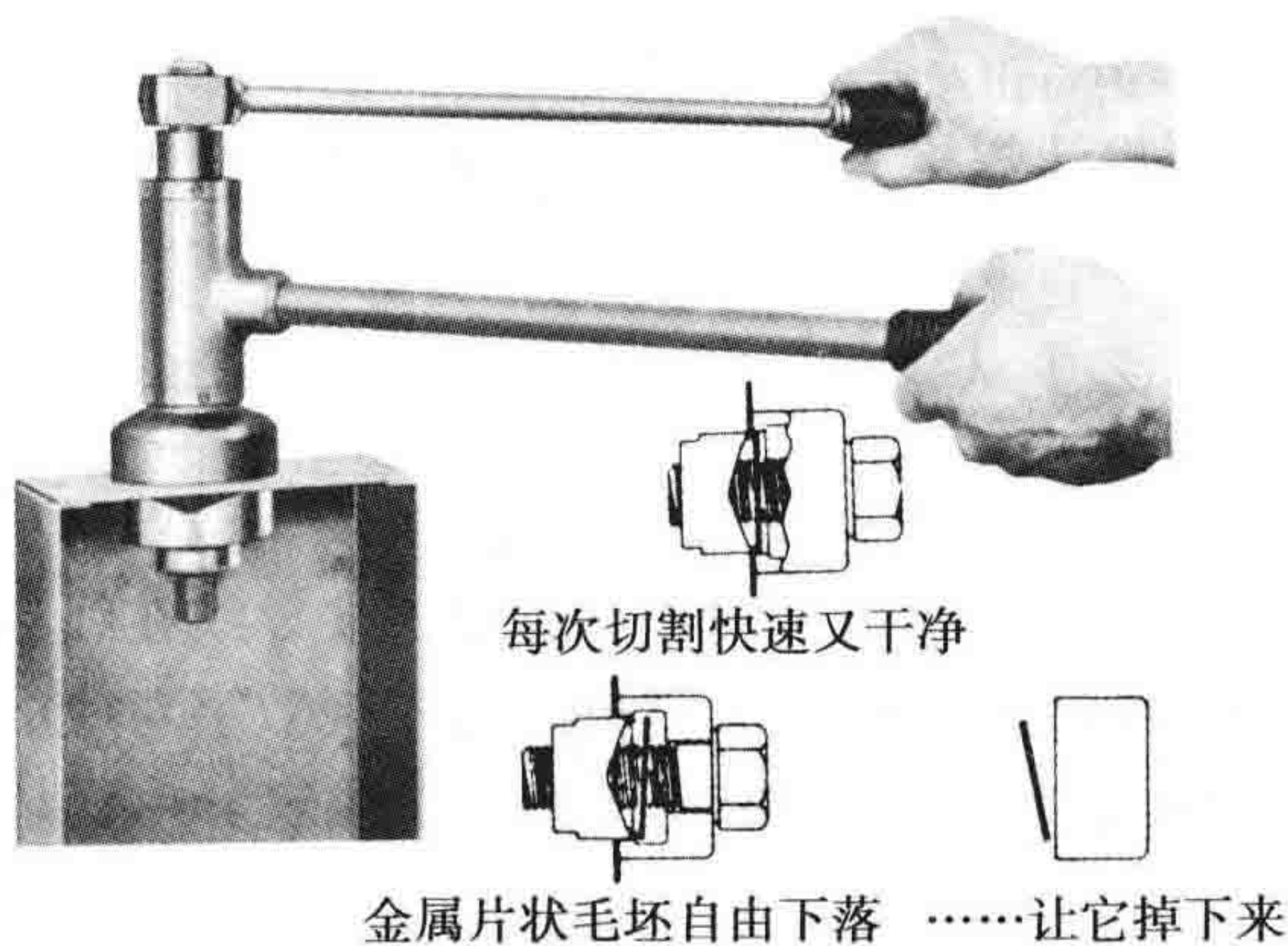


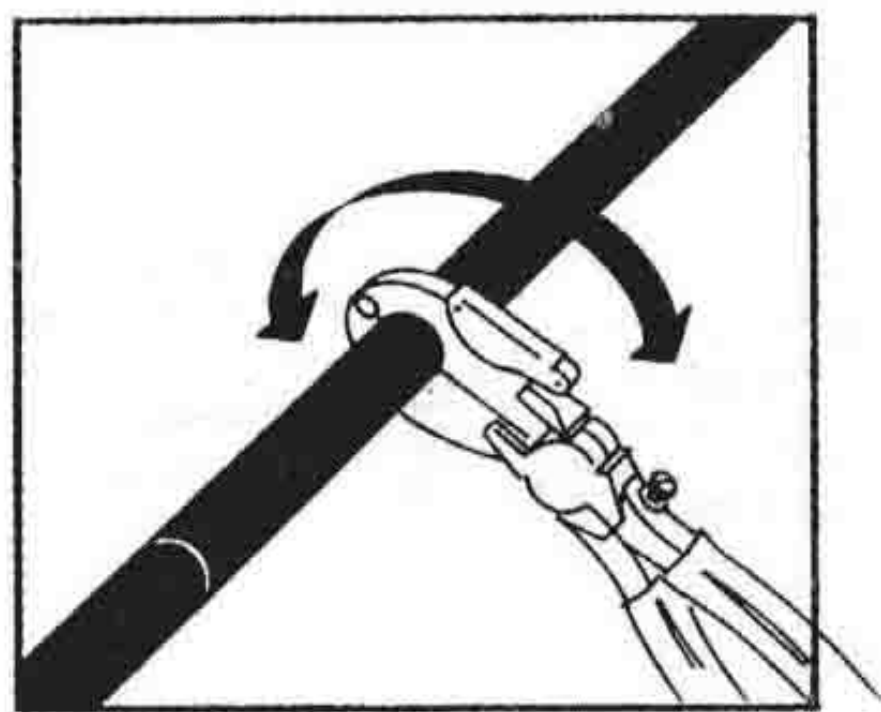
图 1-29 操作中的出坯杆



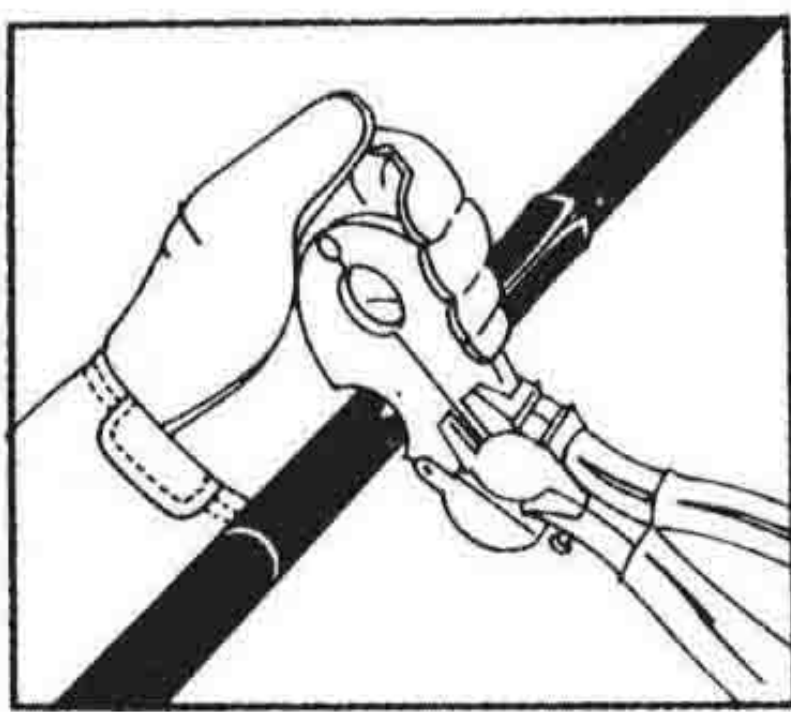
图 1-30 穿线器和绕线盘 (Ideal Industries 产品)

1.3.6 电缆剥线钳

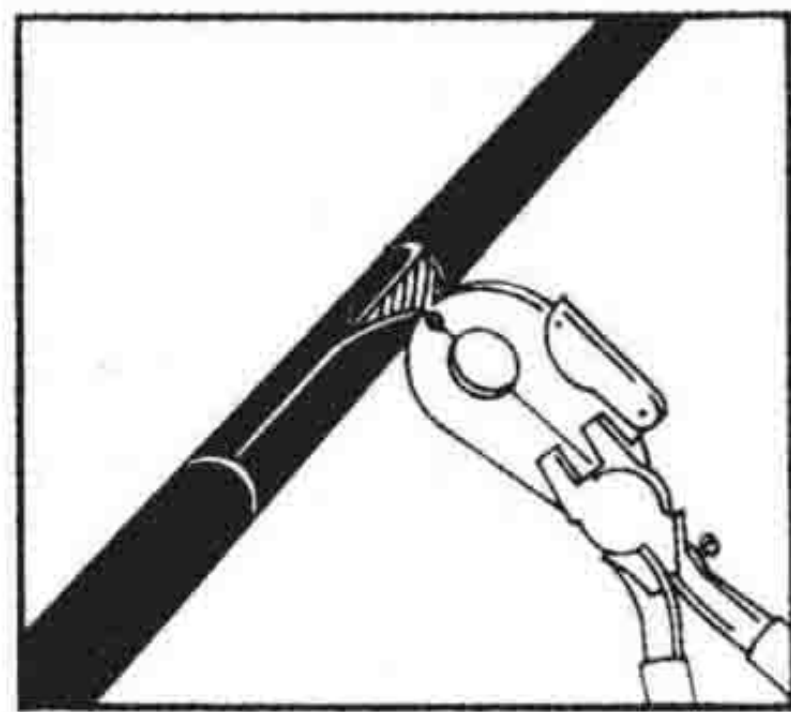
在 T 形电路或跨接电路中，比较粗的导线（电缆）需要剥皮。大多数情况下，电缆剥线钳用于剥去绝缘皮，以使在导线或电缆的末端安装接线端子更为简单。图 1-31 显示了如何使用剥线钳剥去导体绝缘层而不产生刮痕。



1. 在电缆的圆周上开两个切口，绕电缆旋转钳口，完成干净而又精确的绝缘切割



2. 平行于电缆切开切口间的绝缘皮，集成钢制纵断器，工具作为导轨，使得它安全而又方便。不需要使用刀子。不会损伤电缆



3. 用工具顶端的内置剥皮器夹紧切开的绝缘皮，然后剥离它

图 1-31 电缆剥线钳 (Klein 产品)

1.3.7 电缆剪

手动电缆剪用在粗导线的修剪中。长的玻璃纤维手柄产生杠杆作用。电缆剪能够剪断最大 750MCM（表示 750 000 圆密耳，1MCM=1000CM。其中，M 是罗马数字，代表 1000；CM 代表圆密耳。在截面积中，1 密耳=0.001in=0.025 4mm，1 圆密耳=5.067×10<sup>-4</sup>mm<sup>2</sup>）



的电缆（见图 1-32）。干净的切面使得电缆末端能够更容易地接到接线端子中。

1.3.8 电工刀

多用电工刀（见图 1-33）可以切开电缆绝缘层。每个工具箱都应该有一个方便且锋利的电工刀。另一种方便的电工刀就是电工或任何在电气设备周围工作的操作员都用得着的剥皮刀（见图 1-34）。这种刀应恰当包裹后放在工具箱或者电工袋内。



图 1-32 电缆剪（Klein 产品） 图 1-33 多用电工刀（Klein 产品） 图 1-34 剥皮刀（Klein 产品）

1.3.9 其他工具

工作时可能会用到其他工具，如手电筒、数码相机、极化插座测试器、线标记器、各种导线穿拉设备以及用在刚性导管中的螺纹刀具。手边还要有大功率电钻或冲击钻，以便在混凝土上钻孔时使用它们。当你扩充工具箱时，就会想到各种各样的工具。由于在工作中会发生不同的情况，因此你最好学会选用工具。工具是一种投资，最好在工具上标上自己或公司的名字。

1.4 电动工具

对于电动机维修技工来说，安装维护电动机及其控制装置需要很多电动工具。需要使用从简单的万用表到示波器等很多设备来进行各种测试，以此提高故障检修人员的工作效率。

1.4.1 便携式电流表和电压表

钳式电流表和电压表的测量线已扩展出带有替换探针的引线，这样使电压读数变得简单快速。钳口钳在直径 1in 或 2in 的导体上，能读出电流而不中断设备的运行。可以单手执行这些操作：打开钳口，选择量程，读出电流。不用的时候，仪表放在方便坚固的盒子里面保护起来（见图 1-35）。

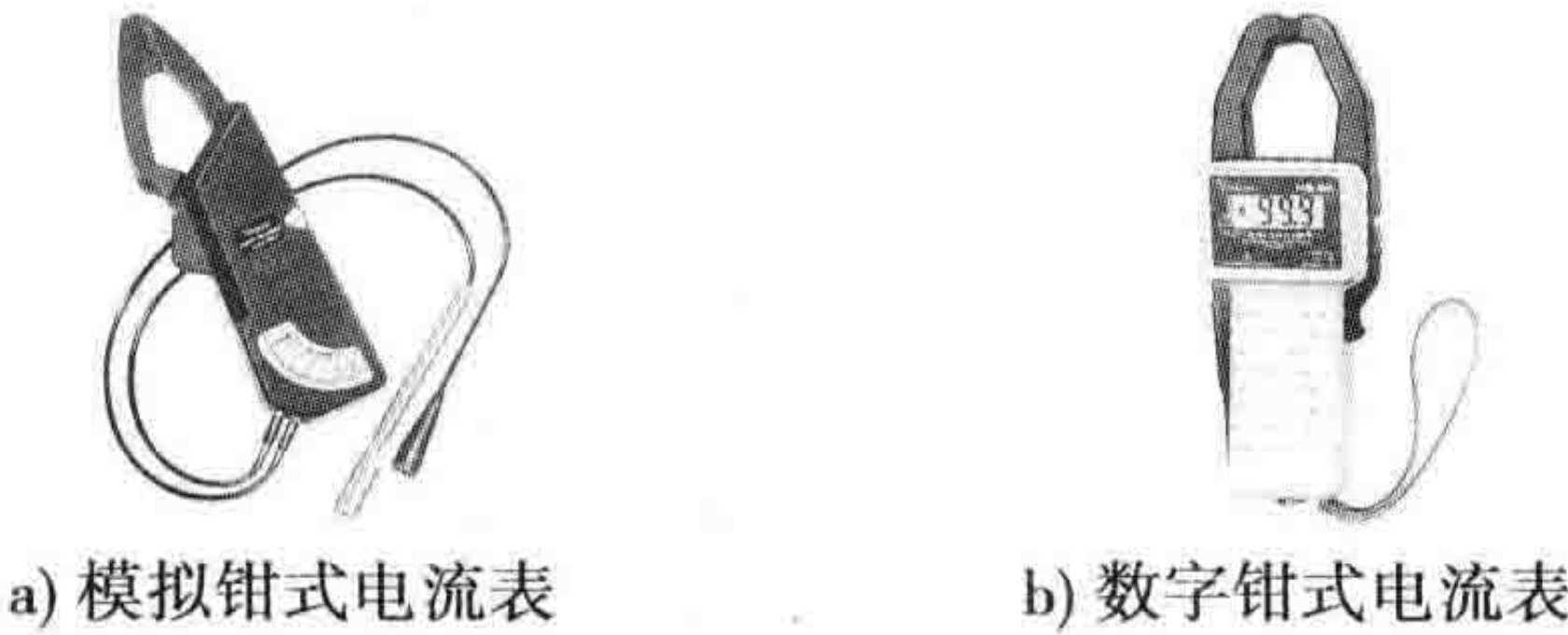


图 1-35 钳式电流表（Simpson 产品）

1.4.2 兆欧表

兆欧表通常也被称为绝缘电阻测量表，图 1-36 所示的绝缘电阻测量表适用于测量发电机、压缩机、导线或者其他需要测量绝缘电阻的地方。它也可连续读数，并能测量电动机绕组的小电阻。

测试所需的电压可通过手摇曲柄发出。这意味着兆欧表不需要任何其他电源，因此随时都可以使用。图 1-36 所示兆欧表的单位刻度特别适合测量电动机绕组阻值以及其他较低的电阻值。保护端消除了可能会影响读数的任何表面漏电。兆欧表配有一个手册，说明如何用它完成各种测量。



1.4.3 电压检测器

电压检测器是一种可以检测 10 个直流 / 交流电压等级的便携设备，它可以放进衬衫口袋里。高亮视窗指示电压等级，使其在光线暗的地方也能很容易读出测量值。卷曲的引线可以延伸至 50in。测试按钮能够区别出正常读数和由于分布电容或高阻泄漏而产生的读数。电压检测器可用于检测 115V 交流接地便利插座，其工作频率为 25~800Hz（见图 1-37）。

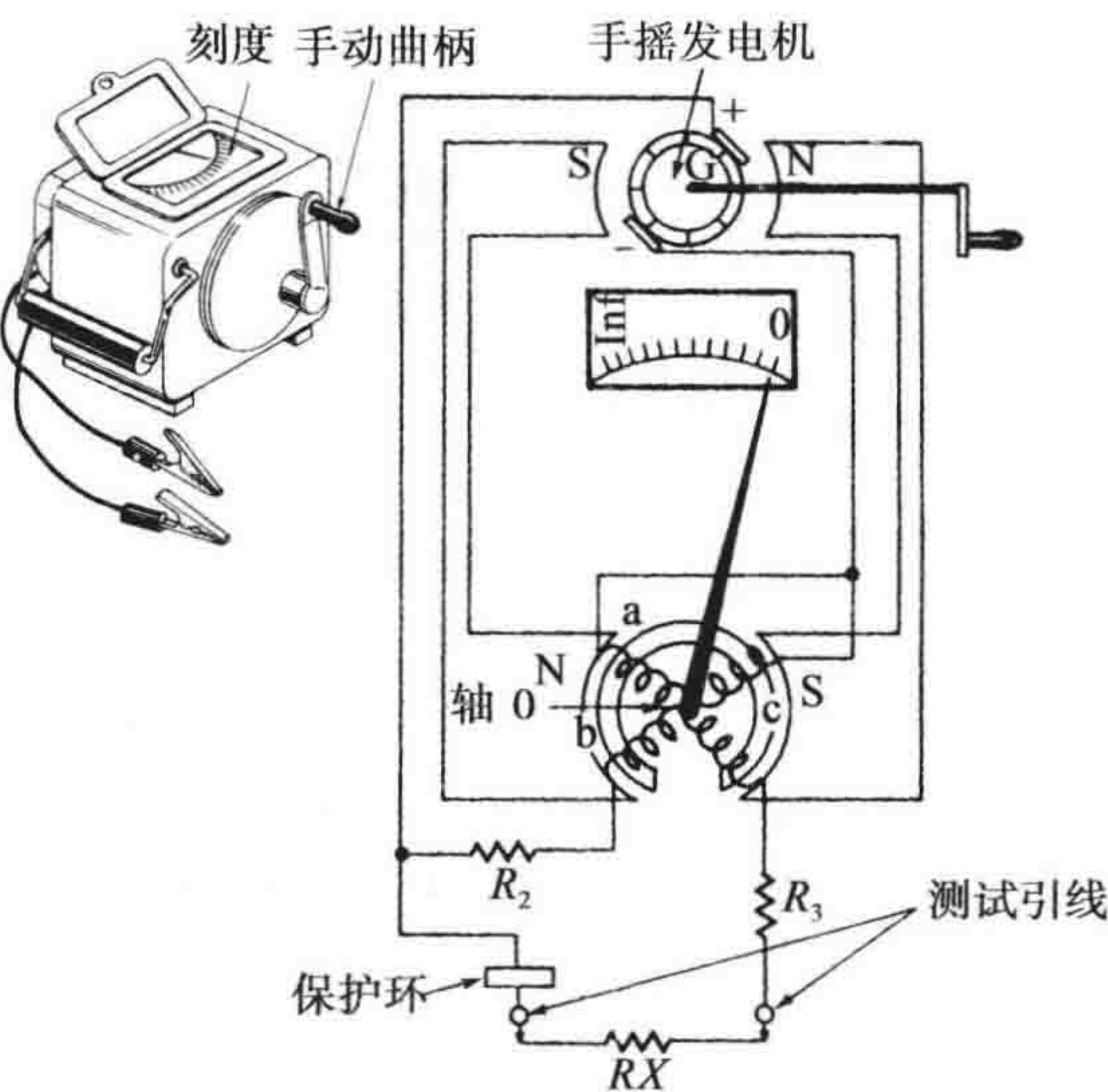


图 1-36 兆欧表



图 1-37 电压检测器（Amprobe 产品）

1.4.4 万用表

万用表（通常称作 VOM）有很多尺寸，并有很多量程。万用表可以用来测量电压、电流和电阻。它们是便携式的，测量电阻时需要电池供电。大多数万用表还可以测量电容、电感以及分贝（见图 1-38 和图 1-39）。弹开式手提箱使其易于存放，并有地方存放引线，这样下次使用仪表的时候就知道它们在哪里了。



图 1-38 模拟式万用表（Simpson 产品）



图 1-39 数字式万用表

1.4.5 数字逻辑探针

数字逻辑探针已成为排查可编程序控制器故障，或者其他使用计算机逻辑开关或计算机逻辑排序的设备故障必不可少的工具了。它是监测 TTL、LSI 和 CMOS 数字电路的一个快速方法（TTL 是晶体管逻辑电路的缩写，LSI 是大规模集成电路的缩写，CMOS 是互补金属氧化物半导体器件的缩写）。图 1-40 所示的探针标有颜色编码并带有发光二极管（LED），



通过它来表示高电平、低电平或者脉冲逻辑状态（高达 10MHz）。它能发出加快测试速度的声音。

下面讨论的内容包括探针的使用和在测试过程中各个 LED 显示的含义。典型信号及其相应的 LED 指示如图 1-40 所示。使用探针时，要把黑夹子接到地（-），红夹子接到电源  $V_{cc}$  正极（+）上，给它通电，确保电源电压低于 20V。

用在 TTL 电路中时，可以将 TTL/CMOS 开关切换到 TTL 模式。TTL 逻辑 1 的电压阈值是  $2.3 \pm 0.2V$ ，逻辑 0 的电压阈值是  $0.8 \pm 0.2V$ 。当切换到 CMOS 模式后，CMOS 逻辑 1 电压阈值是  $70\% V_{cc}$ ，逻辑 0 的电压阈值是  $30\% V_{cc}$ 。逻辑探针可以检测并记录电平的跳变。无论是上升沿还是下降沿的跳变都能被检测到或记录下来，这要取决于选择的模式（脉冲/记忆）。在脉冲位置，记忆功能不起作用。输入状态从“0”到“1”的跳变或者从“1”到“0”的跳变都会触发脉冲指示器闪烁（闪烁周期为 500ms），同时蜂鸣器发出断续音。在记忆位置，触发记忆功能。当检测到任何脉冲或电平跳变时，脉冲指示器亮，蜂鸣器持续发出声音直到复位。

当红色或绿色 LED 指示灯亮时，蜂鸣器发出声音。探针的一些典型指示组合如图 1-40 所示的信号表。

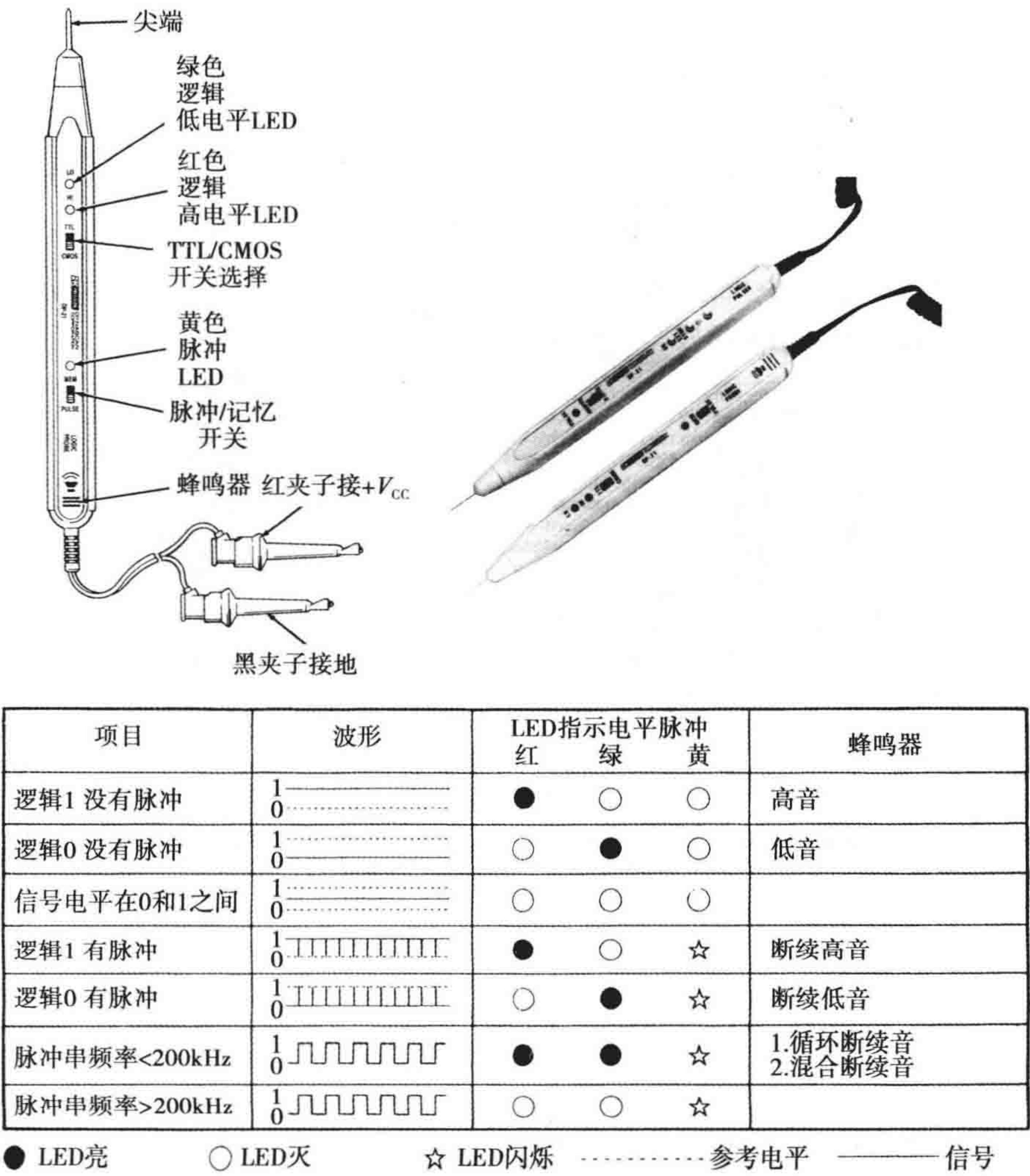


图 1-40 数字逻辑探针（B&K 产品）



1.4.6 连通测试仪

当欧姆表不可用或没有时，使用连通测试仪也非常方便，因为测试仪通常装在工具箱里或者在工具带上。测试仪是一个简单的仪器，包括电池、灯和探针，并带有一条引线以形成闭合回路，灯亮表明电流流过电路。它可以用来检测开路、短路或者连通（见图 1-41）。



图 1-41 连通测试仪 (Klein 产品)

1.4.7 插头极性测试仪

有很多插入式设备可以用来测量电路是否可靠接地以及插座的高电位侧是否在其应该在的地方。图 1-42 显示了一种插入式设备，LED 的不同组合可以显示电路所处的不同状态。



图 1-42 插头极性测试仪

1.4.8 记录仪

带式记录仪在检查线电压的时候会派上用场，这个线电压在很多情况下可能是变化的，不易检测到。记录仪可以安装在线路上，长时间记录电压的变化。知道发生变化的时间有助于确定问题的位置。图 1-43a 所示的记录仪可以在多个量程下监测电压。它有助于确定缩短灯和电动机寿命的过电压情形，以及影响烤炉、工具以及照明输出的欠电压情形。电流型记录仪（见图 1-43b）利用分裂铁心变压器原理作为钳式传感器，将夹子简单地夹住导体就能测量其中的电流了，不需要中断供电。使用这种电流型装置，你可以监测所有的三相交流电，它与电压型记录仪一起使用，可以检查出各种电压涌动的发生，并有助于调整线路上各种设备的接入位置，以达到功率消耗最经济的结果。

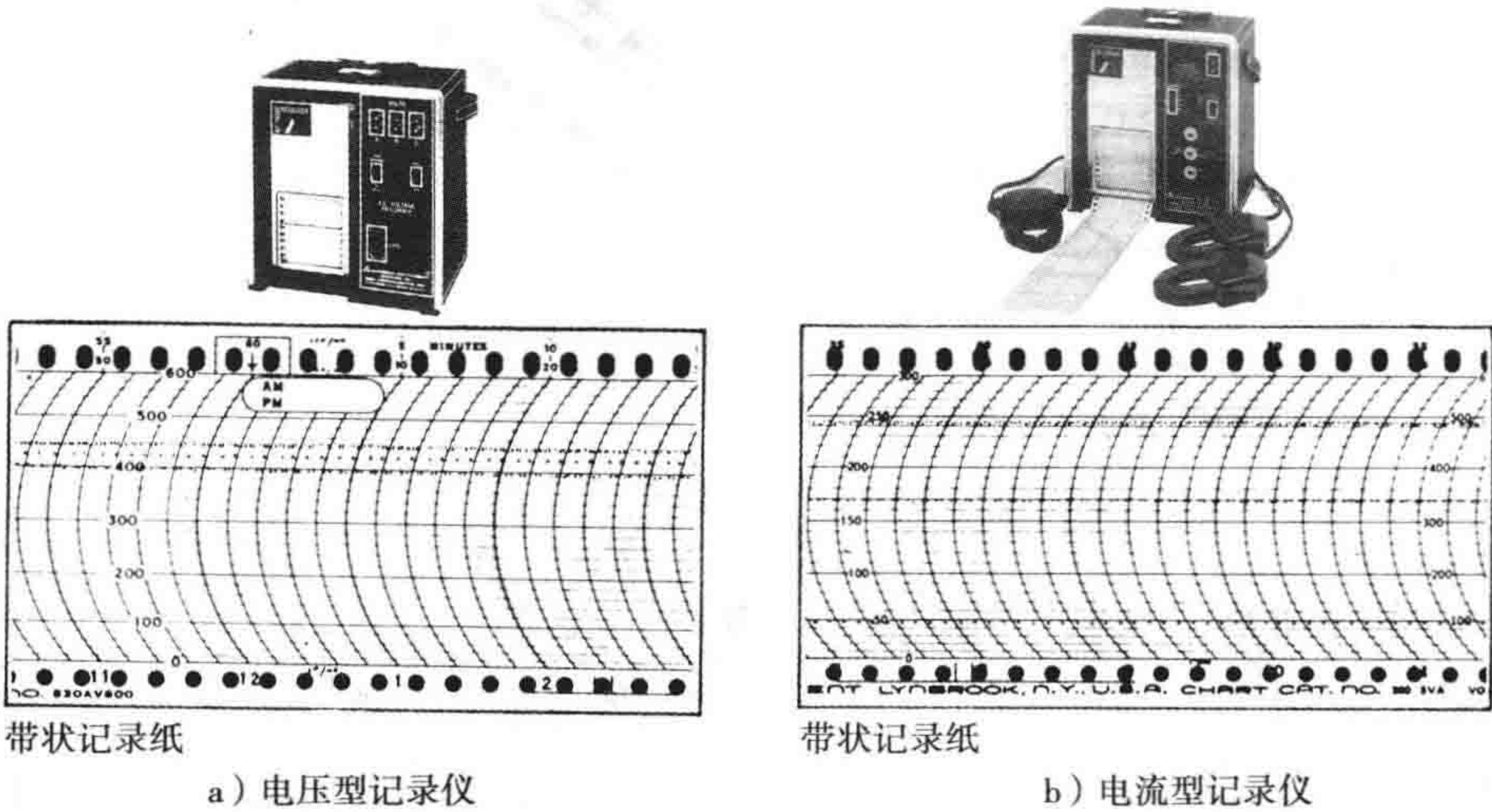


图 1-43 各种记录仪

1.4.9 示波器

示波器（见图 1-44a）也是一种电压指示装置，它显示了使用的电压波形。它可以记录线路上的脉冲，该脉冲可能会引起可编程序控制器或其他计算机控制仪器产生时序问题。通过使用信号发生器（见图 1-44b）和示波器，可以正确调整高增益电动机和调节器的协调一致。合理稳定的电路可以给调节器的输入端加载一个阶跃函数，并且借助示波器或者图表记



录仪观察反馈回路的输出来进行优化。

1.4.10 相序适配器

相序适配器（见图 1-45）可以与任何安博（Amprobe）公司生产的电压 / 电流表或其他量程合适的交流电压表相连接。用它可以判断线电压最高达 550V、频率在 25~60Hz 之间的任意电气设备的相序。它有便携式仪器箱和相关手册。

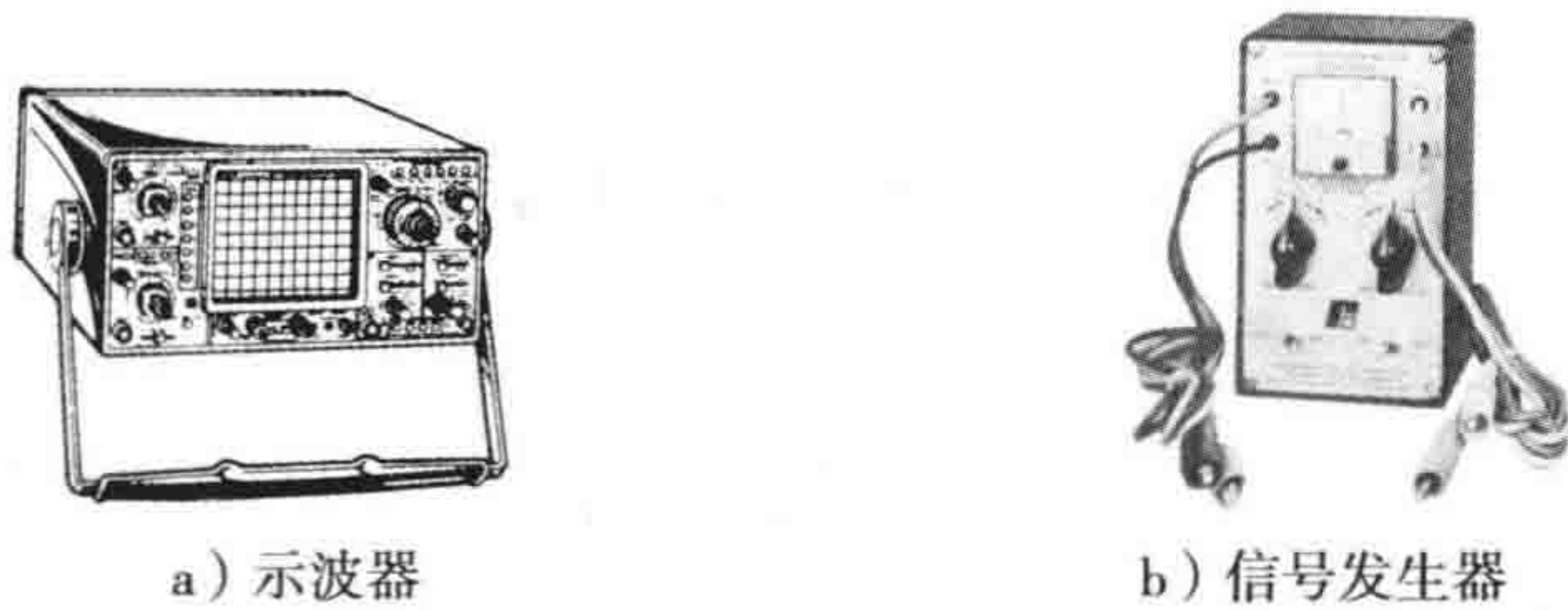


图 1-44 示波器和信号发生器

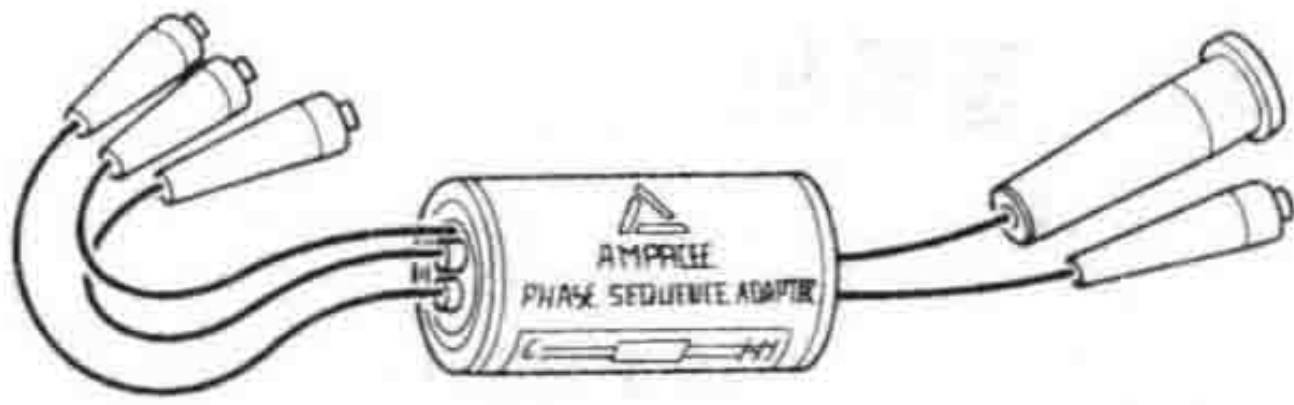


图 1-45 相序适配器

1.4.11 平衡分析仪

在振动模式下，平衡分析仪（见图 1-46）的数字显示屏显示位移、速度和加速度的读数。在频闪模式下，操作员可以选择频闪光源，并可以通过定格画面的分析确定速度。平衡 / 分析模式允许将模型调整到特定的频率以达到信号分析和平衡测量的目的。尽管这个分析仪是一种很贵的仪器，但在解决定位以及由振动和不平衡负载导致的问题时，通常它还是物有所值的。

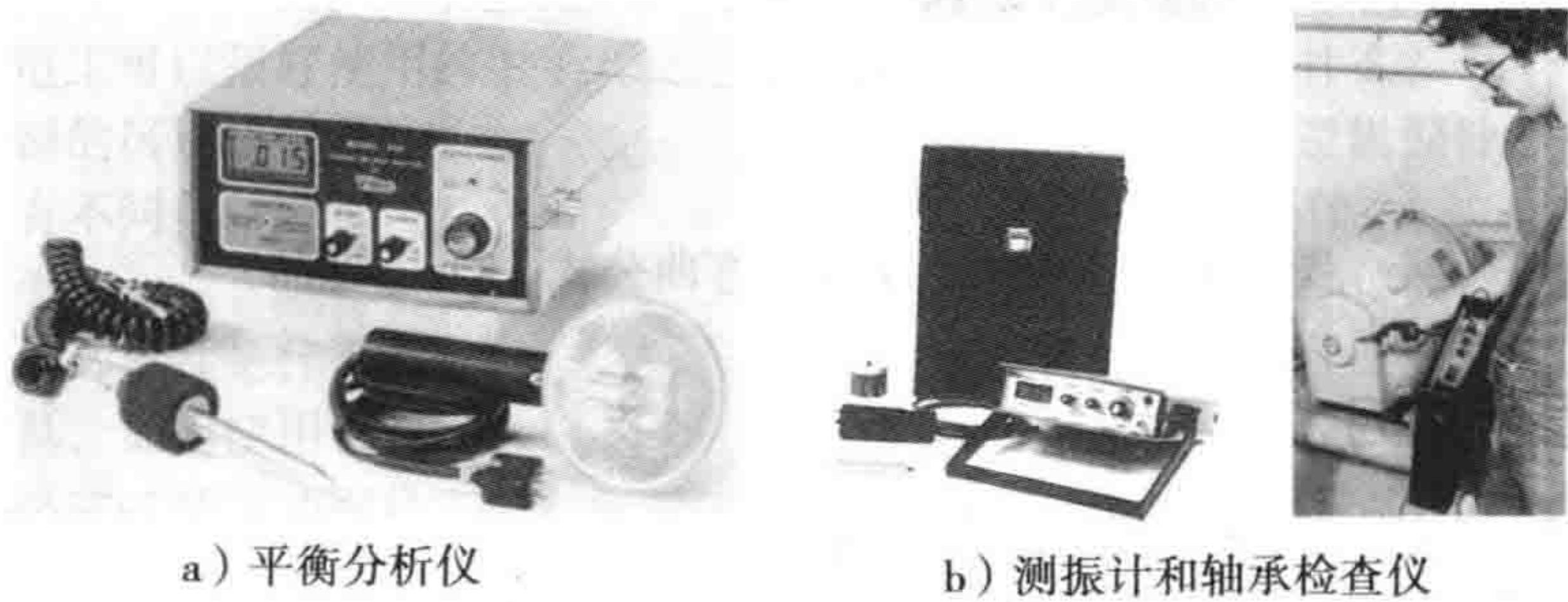


图 1-46 平衡分析仪及其他类型（Vitec 产品）

1.5 特殊工作需要的专用工具

1.5.1 印制电路板拔出器

有时候电动机控制集成在印制电路板中，并安装在机架上。在安装或者拔出电路板时必须非常小心，因为有些电路板对静电放电非常敏感。图 1-47 所示的印制电路板拔出器紧紧地夹住电路板，拔出器表面封有塑料，以保护电路板免于受到物理损坏，而且能防止你在拔出的时候触摸到电路板。

1.5.2 绕接 / 解开工具

目前焊接并不是电线末端连接的唯一方式。绕接提供了快速、安全且不用焊接的电气连接。绕接 / 解开工具（见图 1-48）由耐用的表面硬化钢制成。它们是手动操作工具，不需要气动或电动。绕接法消除了焊接热导致的电线结晶化以及随后的工作振动导致的破裂。



图 1-48 所示的工具可以处理 18~20 线规的导线。

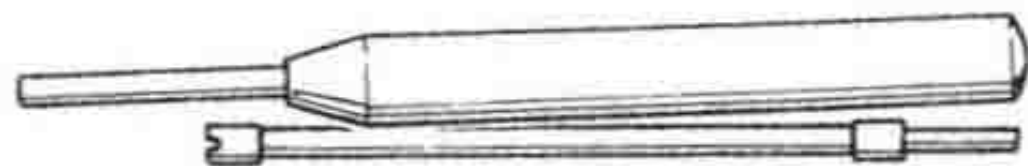
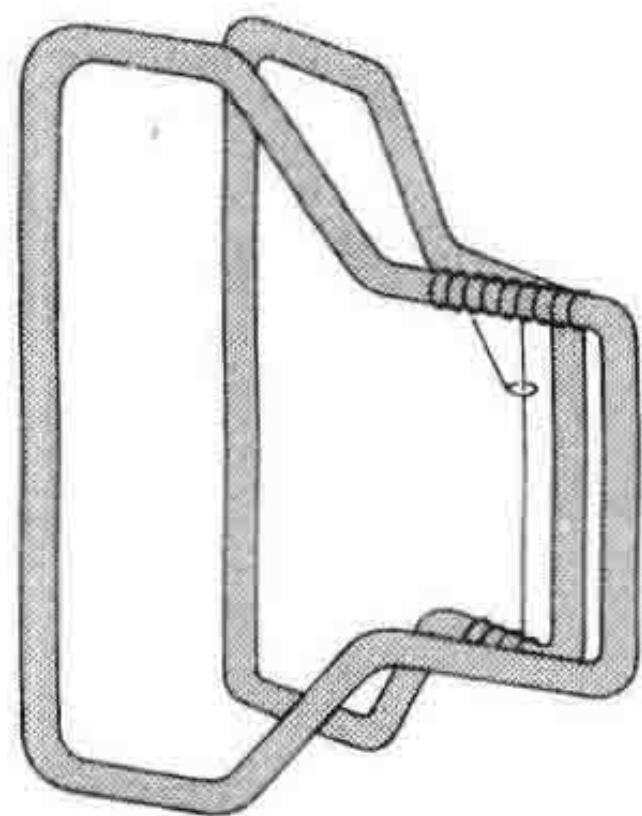
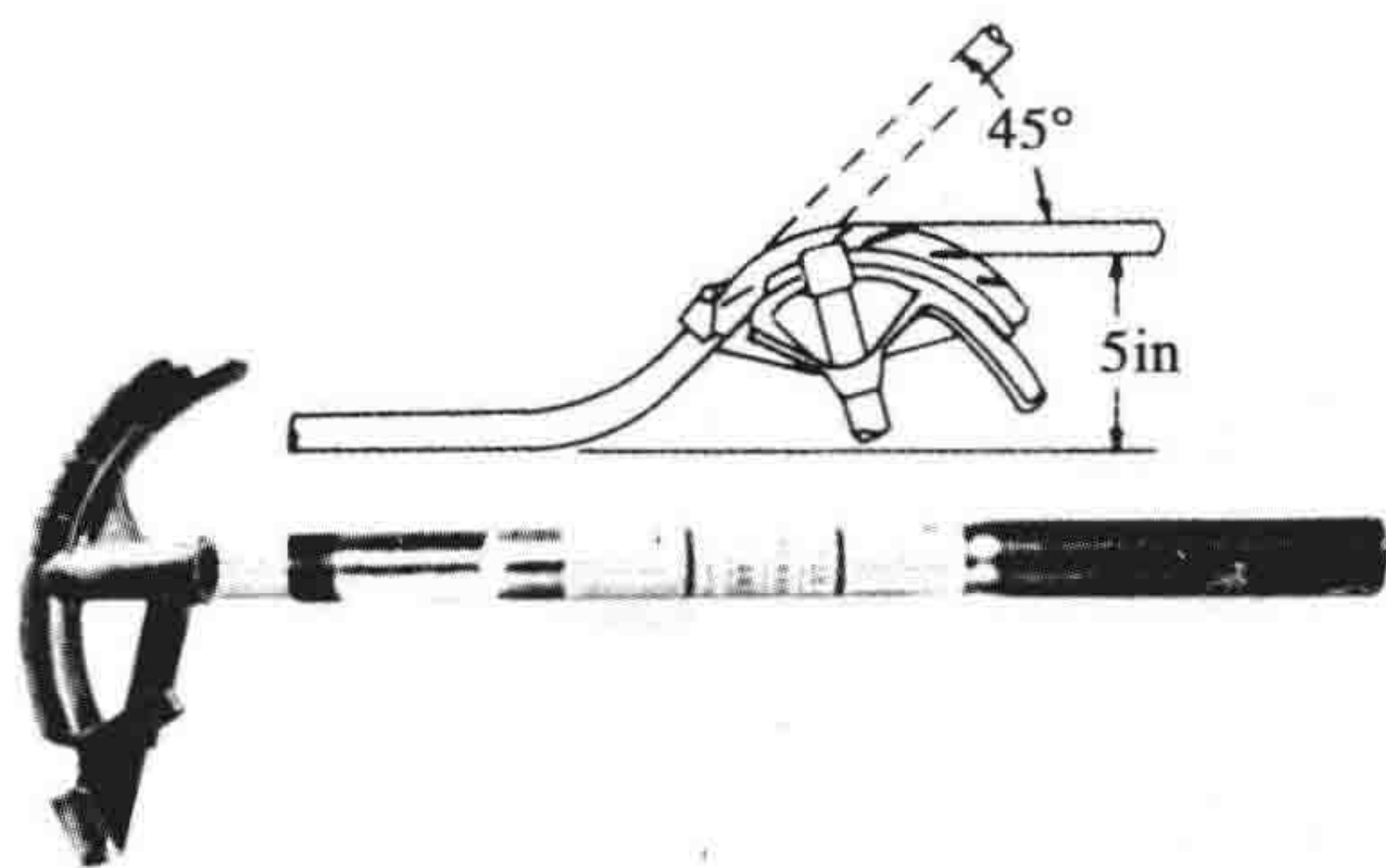


图 1-47 印制电路板拔出器 (Reliance 产品)      图 1-48 手动绕接 / 解开工具 (Reliance 产品)

1.5.3 弯管机

弯管机有内置的基准符号、刻度尺以及倍数尺。箭头指向弯管的首端位置，星号指示弯管的末端位置，泪珠符号指示 45° 弯曲的准确中心位置。

EMT 公司的 0.5in (1in=0.025 4m) 弯管机还有一个映射位移公式和倍数器，为现场快速获取准确的位移 - 弯曲角度提供了信息 (见图 1-49)。



深度 × 弯曲倍数 = 弯曲距离

弯曲倍数与弯曲角度相对应，应用此公式快速又方便。  
例如，做一个深度为 5in、弯曲角度为 45° 的弯头  
 $5\text{in} \times 1.4 = 7\text{in}$   
1. 做间隔为 7in 的若干标记  
2. 在每个标记处进行 45° 弯曲

图 1-49 弯管机、手柄和弯曲公式 (Klein 产品)

1.5.4 PVC 管切割刀

传统切割 PVC 塑料制品是用手锯完成的。切割完成后，切割面粗糙不平，这是因为手锯锯条的锯齿是为切割木材而设计的。用特殊设计的切割刀完成干净无毛刺的 PVC 切割是件快速而又简单的任务。这种切割刀采用棘轮驱动，施加很小的力即可获取极大的切割力 (见图 1-50)。图 1-50 所示的切割刀只有 9in 长，所以它能放在工具箱里或者挂在工具袋上。它可以截断 0.25~1.25in 的 PVC 管。完全打开手柄，将导管放在弧形刀头上，交替地握紧和释放手柄，让棘轮驱动工作直到切割完成。通过使用较长手柄的切割刀，可以切割 0.5~2in 的 PVC 管，就像用短手柄的切割刀切割较小直径的导管一样容易。这种切割刀的优点在于减少导管变形以及切割期间造成 PVC 导管破裂的可能性。另外，还可以获得干净的切割面。当刀片变钝了，可以很容易替换掉它们。

1.5.5 电缆弯曲器

需要用很大的力才能将有些电缆弯曲放到适合它们的预定位置。锻造的一体式弯曲器是用钢制成的，它可以满足这种辅助弯曲的需求 (见图 1-51)。其头部有 22° 的弯曲，为了方便在狭窄、难以达到的地方弯曲电缆。0.875in 的开口允许插入高达 300MCM<sup>⊖</sup> 容量的电缆。

⊖ MCM 表示 1000 圆密耳，1MCM=5.067×10<sup>-7</sup>m<sup>2</sup>。——编辑注



1 1/4 in 的开口用在高达 500MCM 容量的电缆中。为了很好地握持，手柄封有波纹状的塑料膜。为了方便弯曲，有两个弯曲器。



图 1-50 PVC 管切割刀 (Klein 产品)

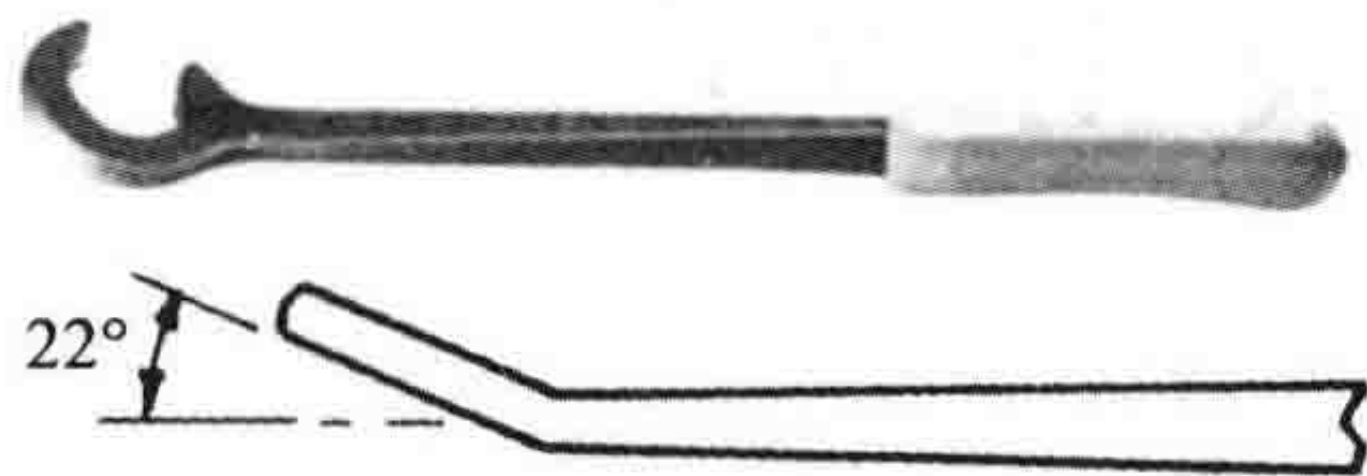


图 1-51 电缆弯曲器 (Klein 产品)

1.5.6 导管铰刀

导管铰刀 (见图 1-52) 锁定在螺钉旋具上，然后铰除 0.5、0.75 和 1in 薄壁导管的末端并去除毛刺。平滑的末端能保护拉进导管的线缆，允许调整配件的安装。导管铰刀可以同时在里面和外面铰。两个固定螺钉可以将其牢牢固定在圆形和方形的螺钉旋具手柄上。铰刀可以安在螺钉旋具上以便正常使用。钢质切割刀片是可以替换的，以保持切割容易。

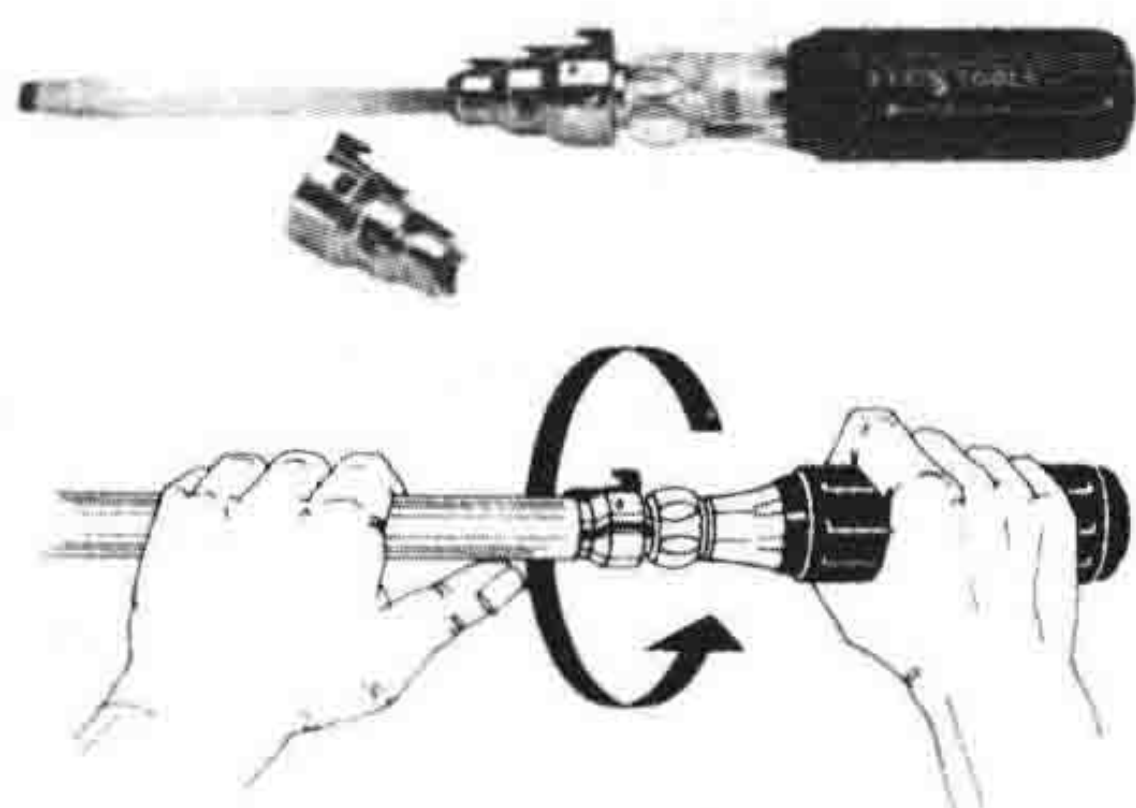


图 1-52 导管铰刀安装在标准螺钉旋具上 (Klein 产品)

1.6 思考题

1. 列出至少 5 种电工可以很好使用的钳子。

2. 圆头锤和羊角锤的区别是什么？

3. 为什么钢锯条有不同数量的锯齿？

4. 描述内六角扳手。

5. 扭矩扳手存在的必要性是什么？

6. 什么是螺帽旋具，如何使用它？

7. 最好的通用电烙铁的额定功率是多少？

8. 熔丝拔钳是用什么制成的？为什么？

9. 电工刀的两种类型分别是什么？
10. 兆欧表的作用是什么？

11. 为什么需要数字逻辑探针？

12. CMOS 代表的是什么？

13. 如何使用连通测试仪？

14. 示波器的功能是什么？

15. 什么是平衡分析仪？

16. PVC 导管是如何被切割的？

17. MCM 代表的含义是什么？

18. 为什么需要导管铰刀？

1.7 练习题

对于电工技师来讲，最重要的就是牢牢掌握欧姆定律：

$E=I\times R$       $I=E/R$       $R=E/I$

1. 如果 100mA 的电流流过 5000Ω 的电阻，则该电阻上的电压降是多少？

2. 若使 5A 的电流流过 150Ω 的电阻，则需要多大的电压？

3. 若使 10mA 的电流流过 1000Ω 的电阻，则需要多大的电动势？
4. 某电阻的阻值为 60Ω，当 100mA 的电流流过它时，电压降是多少？

5. 某电动机的电磁制动器线圈流过 6.5A 的电流，如果该线圈的阻值为 0.5Ω，则需要多大的电压？

6. 一个汽车的前灯由 12.6V 的汽车电池所驱动，并有 7.5A 的电流流过。试问灯的阻值是多少？

7. 当螺线管接到 12V 电源时，流过 4.5A 的电流。试问螺线管的阻值是多少？



## 第2章

# 安全生产

### 2.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 列出在工作中保障安全的措施。
2. 列出与使用接地故障断路器相关的数值。
3. 识别导致过载、短路和熔丝熔断的不同情形。
4. 根据额定电压和额定电流确定熔断器。
5. 描述电气规程是如何提高安全性的。
6. 描述美国安全检测实验室（Underwriters Laboratories, Inc., UL）和加拿大标准协会（Canadian Standards Association, CSA）在电气安全方面的作用。
7. 识别职业安全与健康法案（Occupational Safety and Health Act, OSHA）中的安全色码。
8. 选择合适的电气火灾灭火器。
9. 正确使用锤子。
10. 穿着合适的工作服。
11. 安全使用电动机和发电机。
12. 为使工作安全应选择合适的设备。
13. 说明电气设备正确接地的必要性。

安全关系到你和与你一起工作的每一个人。工作安全对所有在电力和电气设备周围工作的人来说都是至关重要的。

大多数遇到过致命电击事故的人本该知道得更多。下面提供一些关于电气医疗的事实，这些应该能让你在冒险前再三考虑。为了拥有一个安全的工作环境，你一定要三思而后行。工作安全涉及很多方面的考虑。在大电流和高电压的电动机周围工作时，你需要注意很多事情。

### 2.2 电击

致命的不是电压而是电流。110V 的家用电能致人死亡，同样，小至 42V 的直流电也可以致人死亡。电击强度测量的是通过人体的电流大小（以毫安计），而不是电压。室内线路上使用的任何电气设备在某些情形下都能传输致命的电流。

因为你不知道在事故中有多大的电流流过人体，所以有必要进行人工呼吸试图使人再次恢复呼吸，或者如果心脏没有跳动，那么就要进行心肺复苏（CPR）。

**注意：**心脏纤维性颤动的时候不能进行闭胸式心脏按摩复苏。一些医疗设施和救护车服务提供一种称为除颤仪的专用设备。



200mA 的电流就能使肌肉收缩非常严重，高于 200mA 的电流会使心脏肌肉在电击期间强制紧压心脏，这样可以防止心室纤维性颤动，使受害者存活概率增大。

### 2.3 电气安全措施

带电作业是很危险的。然而，如果正确遵守规则，电也是安全的。

#### 2.3.1 使用接地故障断路器

通过使用接地故障断路器（GFCI，俗称漏电开关，参见图 2-1），能够将一些危险的情况最小化。自 1975 年以来，美国国家电气规程（NEC）要求在新建筑的户外和浴室插座处安装接地故障断路器，但是大多数在此之前建成的房子没有接地故障断路器的保护。

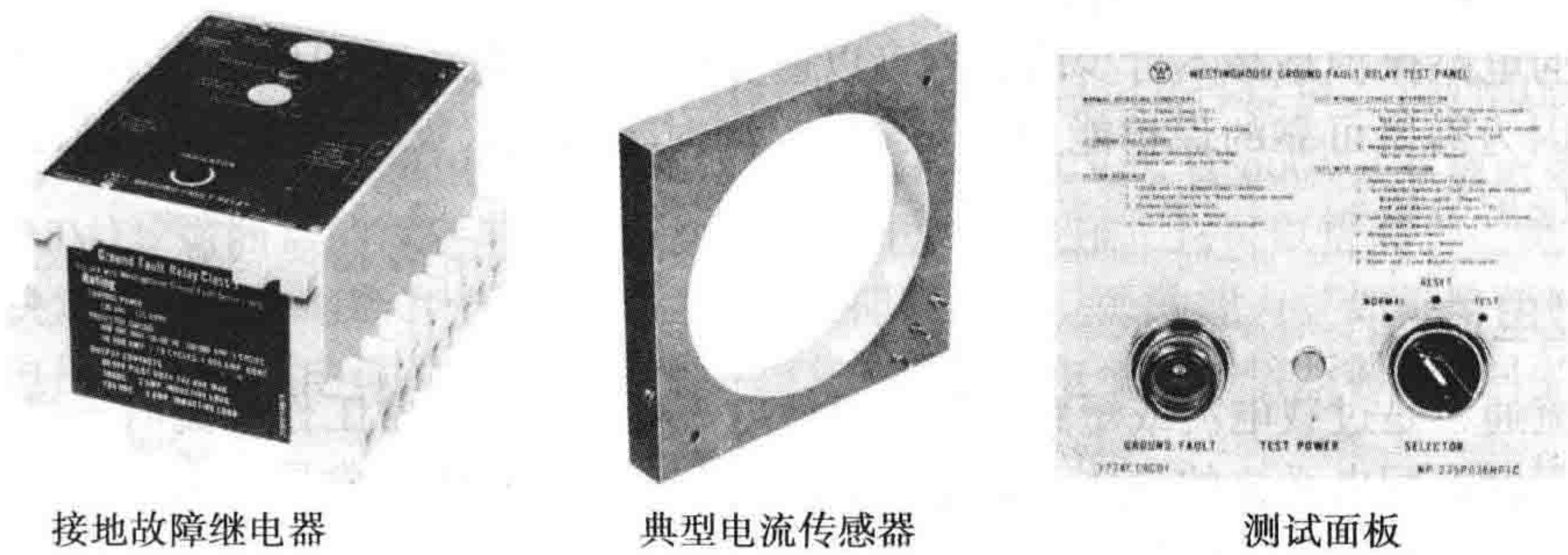
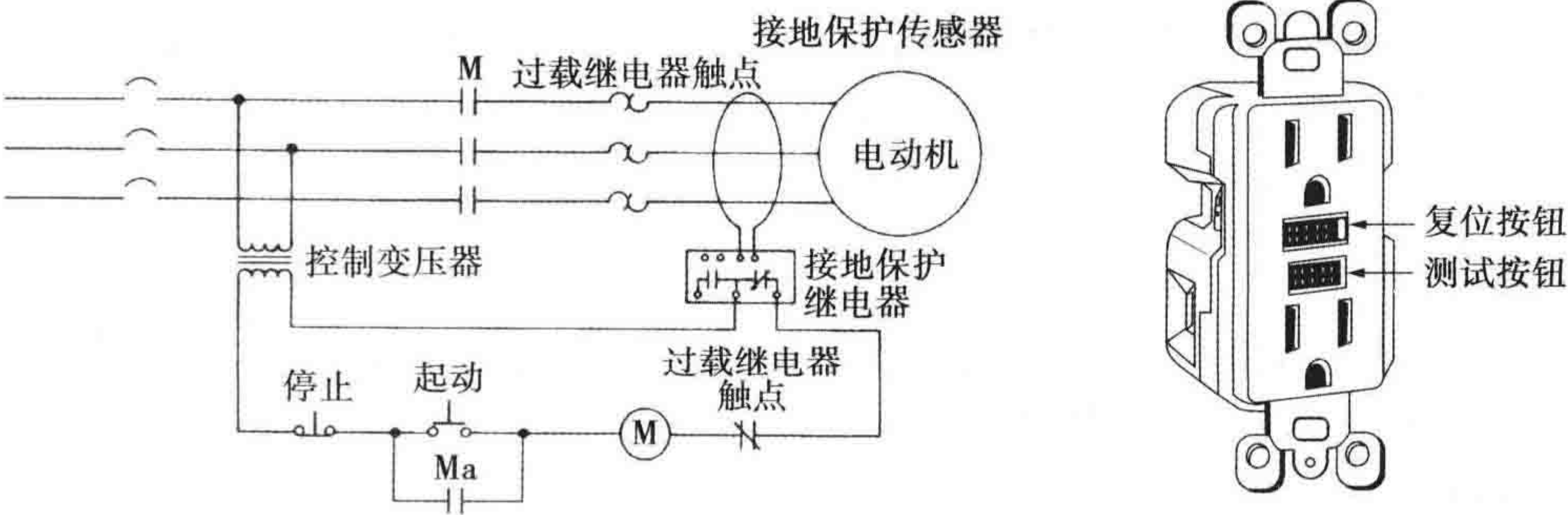


图 2-1 接地故障保护系统（Westinghouse 产品）

接地故障保护也可安装在电动机控制中心和高压起动器处。

图 2-1 和图 2-2 所示的接地故障保护由接地故障继电器和电流传感器组成。Westinghouse 电气公司有两种类型的继电器。GR 类型的继电器瞬时动作，能满足快速、灵敏的接地故障检测的需要；GRT 类型的继电器集成了一个时间继电器，动作时间介于瞬时到 36 个周期（60Hz 时为 0.6s）之间。两种继电器都使用了可靠的固态电路，并且通过故障电流实现自供电。



a) 典型接地保护的应用（Westinghouse 产品）

b) 典型接地故障断路器，通常用在住宅楼的浴室、厨房、洗衣房和车库以及户外插座处

图 2-2 接地保护的电路图及 GFCI 外形图

电流传感器是穿心式电流互感器类型的设备。它的“内径”大小有很多种，对应各种各样的应用。标准接触器保持线圈电路中的跳闸断开继电器和机械闭锁继电器的跳闸闭合继电器上都有继电器触点。



### 2.3.2 安全装置

电可以导致人身伤害、财产损失，或兼而有之。对于那些从事与电相关工作的人来说，当他们工作在电动工具周围、维护电气设备或为电气操作安装设备的时候，了解有关的风险是很重要的。可用的安全装置基本上是过电流设备，特别是熔断器和断路器以及接地故障断路器。

### 2.3.3 电路保护

配电系统往往非常复杂。它们不是绝对不会发生故障的，电路会受到过电流的破坏。恶劣环境、老化、意外或自然因素的破坏、过度扩展或者配电系统的过载都是造成过电流的原因。可靠的保护装置能够防止或最小化故障对变压器、导体、电动机，以及组成完整配电系统的元器件和负载造成的严重损害。

可靠的电路保护是必不可少的，它可以避免停电和设备长时间停电带来的严重经济损失。正是因为需要可靠的保护能力、安全性，同时不造成火灾，才使得熔断器成为一种广泛使用的保护装置。

### 2.3.4 过电流

过电流通常是过载电流或短路电流。过载电流是相对于正常工作电流而言过大的电流，但是它被限制在配电系统的导体、其他元器件以及负载组成的正常导电通路内。顾名思义，短路电流是在正常导电通路外流动的电流。

### 2.3.5 过载

过载电流常常介于1~6倍的工作电流之间。通常情况下，过载是由无害的瞬时冲击电流引起的，可能会发生在电动机起动或变压器通电的瞬间，这样的过载电流或瞬态电流时有发生。因为它们持续时间很短，所以任何的温度上升都是微不足道的，对电路元器件没有不良影响。确保保护装置不受它们的影响而正常工作是非常重要的。

持续过载可能是由于电动机损坏（如电动机轴承磨损）、设备过载或一条线路上有过多负载造成的。这种持续性过载具有破坏性，在它们破坏配电系统或系统负载之前必须由保护装置将其切除。然而，因为它们相对短路电流来说幅值较小，所以在几秒钟内消除过载电流一般就能防止损坏设备。持续的过载电流会导致导体和其他部件过热，并导致绝缘恶化，如果不中断，最终可能会造成严重的损坏或者短路。

### 2.3.6 短路

过载电流通常发生在相对温和的状态，短路电流或故障电流却可以比正常的工作电流数百倍。高压的故障电流可高达50 000A或更大。如果不在短短的几毫秒内切除，损害和破坏将会变得无法估计。有可能发生以下情况：

- 严重损坏绝缘状况
- 造成导体熔化
- 造成金属汽化
- 造成气体电离
- 产生电弧
- 发生火灾



同时，很大的短路电流可以产生巨大的磁场应力。母线与其他导体间的磁场力每英尺<sup>⊖</sup>上可达数百磅，即使是结实的支撑也未必能够阻止其无法修复的扭曲或变形。

2.3.7 熔断器

熔断器是一种可靠的过电流保护装置。熔断器的主要元件是一个熔断体或者是封装在一个管里面并且连接到端点的熔断体。熔断体的电阻非常小，可以简单地把它看成一个导体。然而，当有破坏性电流产生时，熔断体很快熔化，断开电路，以保护导体、负载和其他电路元器件。熔断器的特性很稳定，它们不需要定期维修或检测。熔断器具有 3 个独特的性能特征。

- 1. 它们是安全的。熔断器具有很高的分断能力，这意味着它们能够承受非常高的故障电流而不被损坏。
- 2. 正确使用熔断器可以防止大面积停电。只有最靠近故障点的熔断器才断开，才不会影响到上游熔断器（馈线或者干线），因此，熔断器提供了有选择的协调性。
- 3. 通过使故障电流保持为较低值，熔断器提供了最佳的元器件保护。它们限制了电流。

**额定电压** 大多数低压配电网熔断器的额定电压是 250V 或者 600V（其他的额定电压为 125V 和 300V）。熔断器的额定电压必须至少等于电路的电压。它可以更高，但绝不能更低。额定电压决定了熔断体熔断和电弧产生后熔断器抑制内部电弧的能力。如果熔断器的额定电压比电路电压低，抑制电弧的能力将被削弱，在一些故障电流下，熔断器可能不能安全地切断过电流。

**额定电流** 熔断器有额定电流值。选择熔断器的载流量时，必须考虑负载类型和规程规定。熔断器的额定电流通常不应超过该电路的载流量。在一些特定的情况下允许电流额定值大于熔断器的载流量。一个典型的例子是电动机电路。双熔体熔断器的电流额定值可以高达电动机满载电流的 175%，无时间延迟熔断器可以到满载电流的 300%（如图 2-3 所示）。通常，熔断器和开关组合的额定电流应为负载电流的 125%（这通常与电路容量相对应，它也为负载电流的 125%）。当然也有例外，例如，当熔断器开关组合用于连续运行时，允许工作电流为其额定值的 100%。

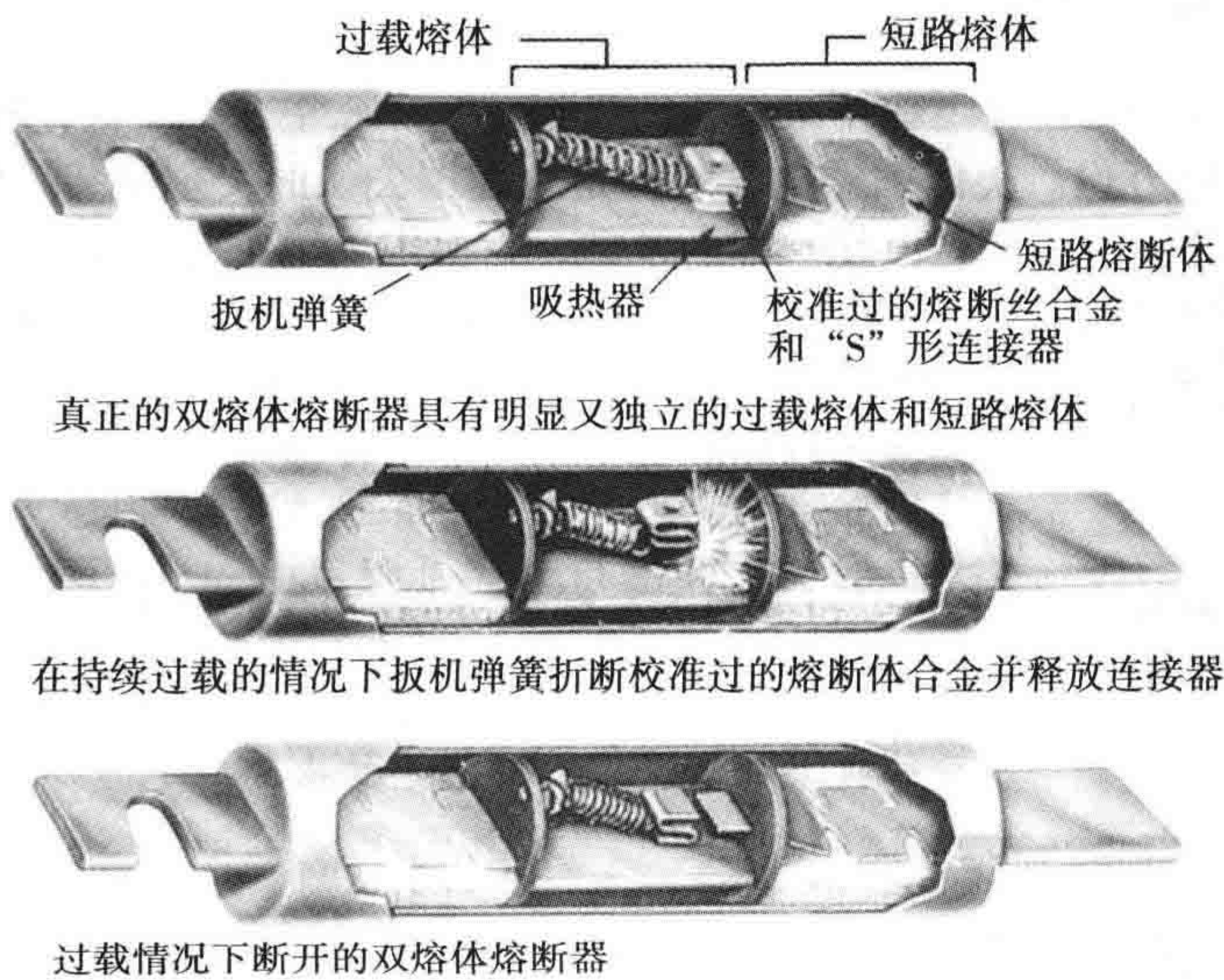


图 2-3 双元件熔断器的操作（Bussmann Division, Cooper Industries 产品）

⊖ 1ft=0.3048m。——编辑注



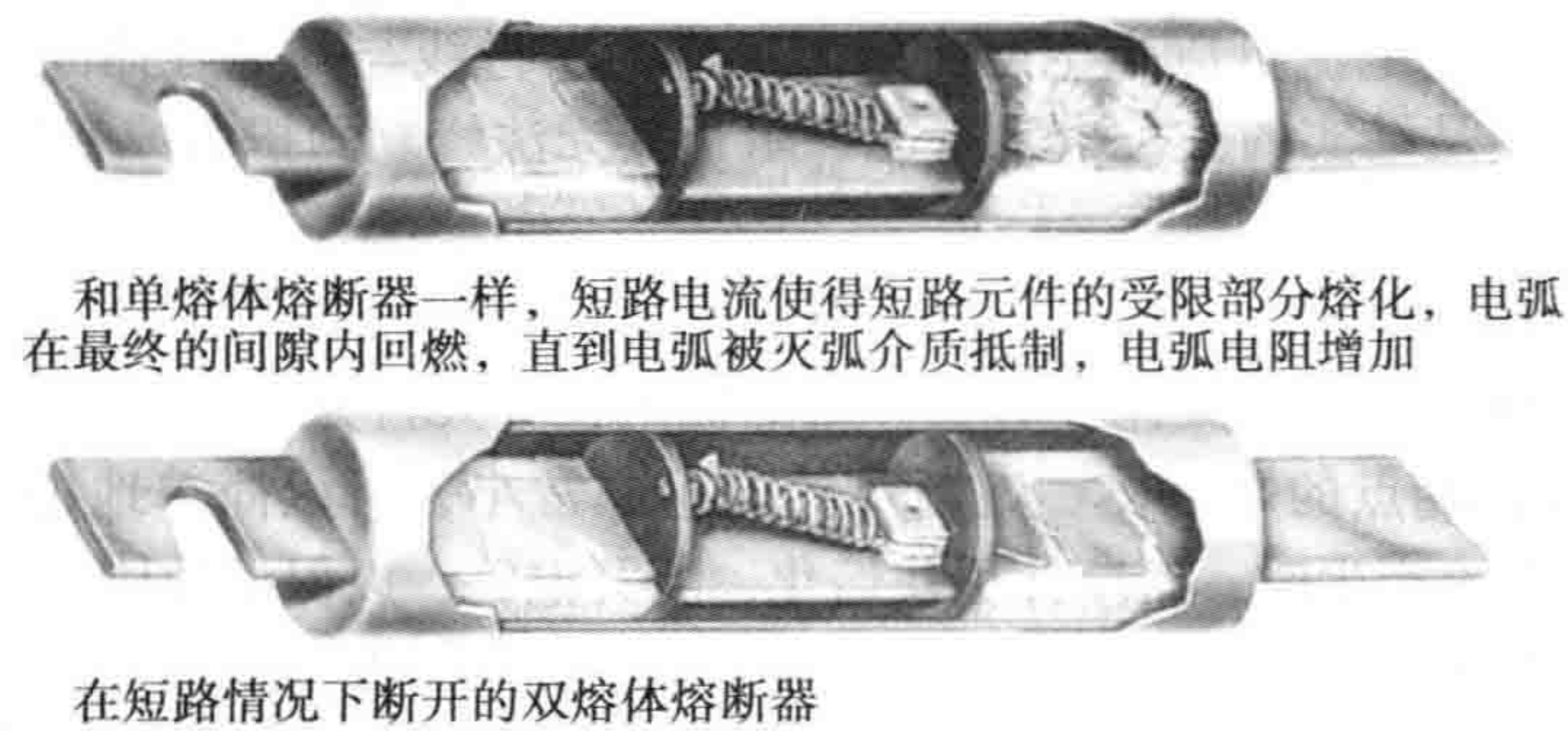


图 2-3 （续）

## 2.4 电气规程

爱迪生的第一个电站只有 5000ft 的传输距离。现代联合电力系统使客户可以使用相隔几个州的电厂发的电。早期的发电机只有 100kW 的发电能力，但现在能发出数百万千瓦电能的发电机都在运行。自 1900 年以来，输电电压从 30 000V 增加至 500 000V，如今高达 765 000V 的输电线已投入运行。

在 19 世纪 80 年代初期，纽约火灾保险委员担心爱迪生提出的电气照明新方法。虽然爱迪生并没有意识到电的危险，但是纽约委员会认为，除非必要的预防措施能跟得上，否则照明的新方法可能和被它替代的明火一样危险。在 1881 年，在接通电源之前会指派一个人检查每个电气装置，这就是纽约火灾保险委员会电气部门的起源。检查员不仅要检查建筑物内部的装置，还应调查当时只有一两个街区远的发电厂。当时委员会研究了整个电力系统的安全性并要求电力公司每周进行一次接地和开路测试并向委员会报告测试结果。1882 年，调查委员会制定了一套电弧和白炽灯照明的保障措施，这就是现在美国国家电气规程的前身。

### 2.4.1 美国国家电气规程

美国国家电气规程是世界上应用最广泛的规程。它每三年发布一次，每次发布的手册总销售量都超过了 100 万份。美国国家电气规程是全美国公认的安全安装导体和设备的指南，事实上，它也是美国使用的所有电气规程的基础。它也广泛用于美国以外的地区，尤其是在安装有美国制造的设备的地区。每个电工的工具箱里面都应该有一本相关的手册。

美国国家电气规程手册由美国国家消防协会公布，以帮助电气安全方面的工作人员理解新版本规程的意图。手册包括逐字翻印的新美国国家电气规程，并在必要的地方附上了注解、图表和插图，以进一步阐明一些规程的复杂要求。

就美国国家消防协会（NFPA）和美国国家标准协会（ANSI）而言，该规程纯粹是建议性的，但可供法律使用，还有出于保护生命和财产进行监管的目的。要求任何发现错误的人都要通知美国国家消防协会行政办公室、董事长和委员会秘书。

### 2.4.2 美国安全检测实验室

美国安全检测实验室（UL）成立于 1894 年。威廉·亨利·美林来到芝加哥的哥伦比亚博览会来测试爱迪生的新型白炽灯装置。后来他创立了 UL 公司，一个作为保险公司可以测试产品电气和火灾隐患的实验室。直到 1917 年，它一直是一个保险承销商的测试实验室。随后，它成为一个独立的、自营的安全测试实验室。美国火灾保险国家委员会（现在的美国



保险协会)作为UL的赞助商,一直持续到1968年。当时,除了安全和标准化专家,赞助商和会员扩大到了包括消费者权益代表、政府机关或机构、教育、公共安全机构、公用事业和保险行业。UL将它的检测服务扩展到全世界超过13 000个制造商。在美国安全检测实验室列出的产品上,每年超过10亿的UL标签被使用。

根据特拉华州的法律,UL是一个没有股本且不以营利为目的的组织,用于建立、维护和运营实验室,进行各种设备、系统和材料的检验与测试。其既定目标是“通过科学调查、研究、实验和测试,以确定各种材料、装置、产品、设备、结构、方法及系统和其相关的危害或因使用它们而产生的影响生命财产之间的关系,并确定、定义、发布影响到这些危害的材料、装置、设备、建筑、方法和系统的标准、分类、规格以及其他信息,以减少和防止因这些危害导致的生命和财产损失。”

该公司的总部连同同一个测试实验室,位于:伊利诺斯的诺斯布鲁克西大街,纽约的梅尔维尔,加利福尼亚的圣克拉拉,佛罗里达的和坦帕。

美国安全检测实验室拥有超过2000名员工。700多人从事工程工作,而其中约有425人是大学毕业的工程师。除工程技术人员外,还有500多名工厂监察员。有6个部门涉及工程职能:

- 防盗和信号
- 意外事故和化学危害
- 电气
- 消防
- 供暖、空调和制冷
- 船舶装备

电气部门是6个工程部门中最大的。它负责对住宅、商务楼、学校和工厂使用的数百种不同类型的设备进行安全性评估。这个部门工作的范围包括测试建筑内将电能从入户仪表位置传输到电气负载过程中所有的电气施工材料。

美国安全检测实验室每年都会发布产品符合其安全要求的生产厂商的名单。这些名单每季度都会补充以保持最新,每年会发布11个名单。UL目前出版了300多个关于材料、设备、结构和方法的安全标准。感兴趣的人可以获得这些副本,还有一个免费的目录。

出于安全,用于房屋和建筑接线中的产品或任何一种装置都应该有“UL”标志(如图2-4所示)。

### 2.4.3 加拿大标准协会

在加拿大与UL相似的组织是加拿大标准协会(CSA)。然而,CSA拥有更多的权力,它能把市场上那些不符合标准的产品剔除掉,而UL的项目则是完全自愿的。在加拿大使用的电气产品(或在某些情况下,其他类型的产品)如果以任何方式使用了由各省拥有的电源发出的电能,那么这个产品必须经过CSA认证。这是一项出于公众安全考虑的措施。

经CSA认证的产品才有资格贴上CSA认证标志。非法使用该商标可能导致暂停或取消相关产品的认证。当其注册商标被滥用时,CSA可以诉诸法律以寻求保护。图2-5所示为CSA标志。此外,还有CSA信息标签和其他标志供认证产品及其包



图 2-4 UL 贴纸和标签



图 2-5 CSA 标志



装来使用，作为 CSA 标志的补充。

2.4.4 其他国家的标准

其他国家也有标准和测试实验室。图 2-6 所示为一些其他国家使用的标志。



图 2-6 认可标志与其来源国家

①通过组件认可程序认可的产品都有认可标志“UL”。被认可的组件可用于工厂其他设备的安装，它们的用途和使用限制由 UL 来决定

2.5 职业安全与健康法案

1970 年的职业安全与健康法案（OSHA）设定了任何工作场所都统一遵循的生产安全国家要求。当初，OSHA 采用了 1971 年的 NEC 作为电气安全规程。修改像 OSHA 这样的联邦法律所涉及的流程非常复杂，使得它不可能使用每一版新修订的 NEC，因为该规程（NEC）每三年修订一次。为了避免这个问题，OSHA 机构于 1981 年通过了自己的规程——NEC 的精简版，只包含那些与职业安全相关的规定。基于 NFPA 70E 标准第 1 部分，OSHA 进行了修改，并采用了这一规程，现在它是联邦法律。

2.5.1 设备标准

设备标准是由美国电气制造商协会（NEMA）建立的。而美国国家标准协会（ANSI）则是另一个标准的来源。在 UL 列出或标记它之前，设备必须符合美国安全检测实验室（UL）的标准。大多数行政辖区和 OSHA 要求，只有被实验室列为安全的设备才可以使用，未列



出的设备不能使用。虽然 Factory Mutual Insurance 公司列出了一些设备，一些其他的检测试验室已获得认可并被接纳，但是到目前为止 UL 是最广泛接受的国家实验室。电气和电子工程师协会（IEEE）出版了一些关于工业建筑、商业建筑、应急电力系统和接地设计等方面建议方案的书籍（即“彩书”系列）。有些 IEEE 标准已经作为 ANSI 的标准被采纳了。尽管在任何方面它们都不具有强制性，但它们都是极好的指南。

2.5.2 OSHA 色码

为了创造一个安全的环境，OSHA 已经为特定的情形标准化了一些颜色。选择红、黄、橙、紫和绿来指示不同的地点、机器和设备。

红色

- 防火设备及器材
- 易燃液体的便携式容器
- 紧急停止按钮和开关

黄色

- 用于警示和标记物质的危害
- 易爆或易燃材料的废物容器
- 警告不要起动、使用或移动正在修理的设备
- 标识机器电源的起始点

橙色

- 危险的机器部件
- 安全起动按钮
- 滑轮、齿轮、滚筒、切割设备及电爪裸露的部分（边缘）

紫色

- 辐射危害

绿色

- 安全
- 急救设备（消防设备除外）的位置

2.6 灭火器

灭火器的应用范围有限。它们用来控制小火，选择灭火器的人要正确识别小火的类型。不同类型的灭火器有不同的用途。更不用说，水类型的灭火器不能用于电气火灾。电气火灾被定为 C 类。C 类火灾指的是与带电的电气设备相关的火灾，这里，灭火剂的非导电性是很重要的。发生电气火灾时我们需要二氧化碳、干粉、多用途干粉和哈龙 1211 类型的灭火器（如图 2-7 所示）。

2.7 安全操作规程

电工或操作电动机的工作人员可以使用安全设备。在大多数情况下，商业或工业场所的工作人员需要使用钢趾鞋、安全帽、护目镜和面罩。熔丝拔钳是绝缘的，可以保护使用者，但必须正确拿持。如果不遵守某些常识性的规则，使用钳子和切割设备可能是有危险的。



灭火器分类	A		AB	BC			ABC		D	
灭火器药剂	水型 (包括防冻剂)		水成膜泡沫与成膜氟蛋白	二氧化碳	干粉型 碳酸氢钾 超级生物钾 碳酸氢钾、尿基		卤化型 1211 1301 1211/1301	多用途干粉	卤化型 1211 1211/1301	干粉
排出方法	储存压力	泵槽	储存压力	自排	储存压力	筒身操作	储存压力	筒身操作	储存压力	筒身操作
可选尺寸	2.5gal (1US gal=3.785 41×10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> )	2.5~5gal	2.5gal (33gal)	5~20lb <sup>①</sup> (50~100lb)	2.5~30lb (50~350lb)	4~30lb (125-350lb)	2.5~20lb (50~350lb)	5~30lb (125~350lb)	5.5~22lb (50-150lb)	30lb (150~350lb)
水平射程	30~40ft	0~30ft 10~40ft	10~25ft (30ft)	3~8ft (3~10ft)	10~15ft (15~45ft)	10~20ft (15~45ft)	10~15ft (15~45ft)	10~20ft (15~45ft)	9~16ft (20~35ft)	5ft (15ft)
排放时间	1min	1~3min	50~65s (1min)	8~15s (10~30s)	8~25s (25~60s)	8~25s (25~60s)	8~25s (20~60s)	8~25s (25~60s)	10~18s (30~45s)	20s (150lb, 70s 350lb, 1.75min)
操作预防与药剂限制	导体。避免冻伤 (除了防冻液)。在可燃液体与油剂上使用会造成火势蔓延		导体。避免冻伤。对水溶性的可燃液体 (如酒精) 无效, 除非另外在铭牌上进行了说明。水成膜泡沫对加压的 (液体 / 气体) 火灾无效	高浓度的二氧化碳可导致窒息。避免接触排气扬声器。在多风环境中效果有限。在0°F以下效果严重下降			灭火效果很好。在狭小空间中会造成可视性下降		避免高浓度与不必要的使用	避免高浓度与不必要的使用  注意: 只有干粉型灭火器对加压的可燃气体与可燃液体才有效; 对于油炸锅造成的火灾, 不可使用多功能 ABC 型干粉灭火器
	注意: 温度低于 40°F <sup>②</sup> 或高于 120°F时需要保护									
注意: 这些图片与实物的尺寸并不成比例										

① 1lb=0.453 592 37kg。  
②  $\frac{t}{^{\circ}\text{C}} = \frac{5}{9} \left( \frac{\theta}{^{\circ}\text{F}} - 32 \right)$ , 式中,  $t$  表示摄氏温度,  $\theta$  表示华氏温度。







## 2.8 工具安全

使用钳子时必须注意的一些预防措施如下所示。

- 1. 除非你的眼睛受到保护，否则不要切割任何导线或金属。护目镜或其他防护设备是绝对必要的，很容易就忘了佩戴它们。只为了“剪一下”而戴上护目镜是非常麻烦的。你也听说过各种各样的理由和借口，但它们都没有任何道理。它们都是偷懒的方式，而不是专业的方式，也不是安全的方式。
- 2. 除非工友的眼睛也受到了保护，否则不要切割任何导线或金属。虽然你可能没有听说过这个预防措施，但你会发现这是有道理的。导线可能伤不到你，但可能会伤到别人，所以要像重视个人安全一样重视他人安全。
- 3. 千万不要依赖塑料手柄防止触电。塑料手柄只是为了舒适和更牢靠地抓力，它们并不能用于防触电保护。
- 4. 始终佩戴护目镜。

### 2.8.1 正确使用锤子

使用锤子作业的时候也有一些预防措施需要注意。锤子可能是所有手工工具中滥用和误用最多的工具，不正确地使用锤子会导致伤害，使用损坏的锤子也会导致伤害，将锤子用在不是为它们特别设计的工作上也会导致伤害。

正确使用锤子有一些基本的规则，具体做法见 1.2.3 节，其中正确佩戴护目镜的方法如图 2-8 所示。

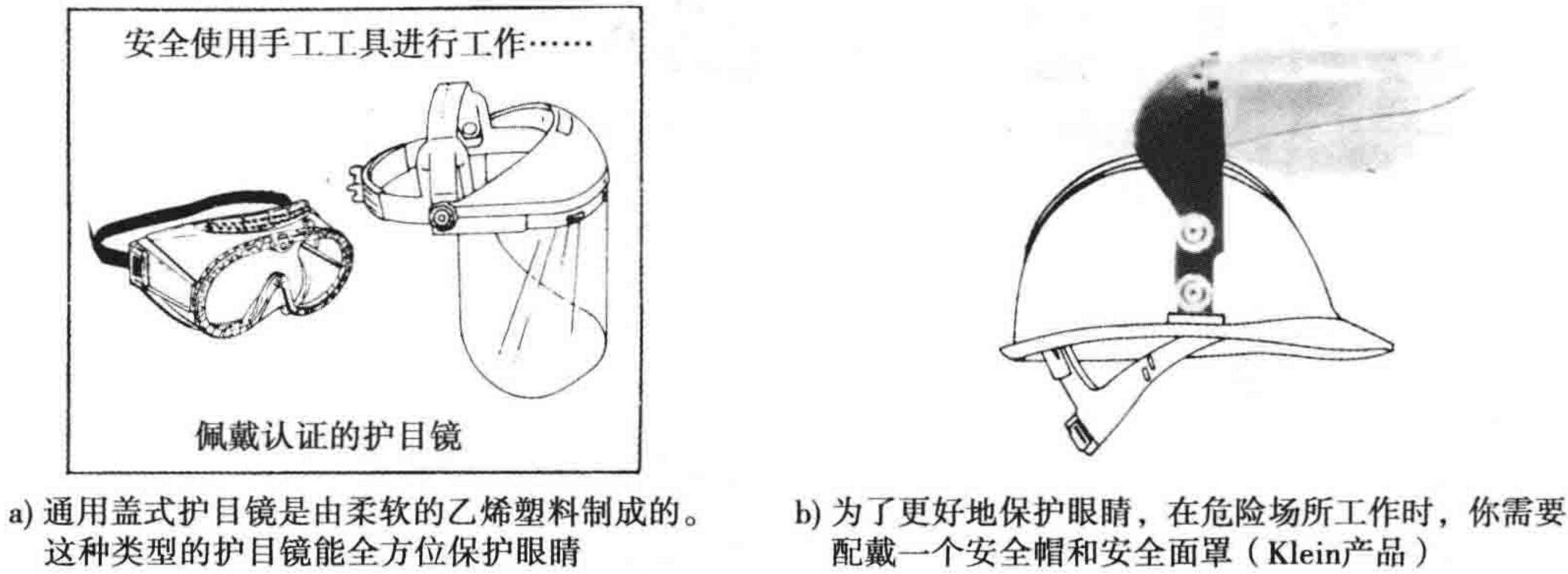


图 2-8 护目镜

专业人士对待工作和工具都很严肃。工作时使用正确的工具意味着省时、高效。安全地使用工具也意味着节省时间并妥善完成工作。只有一种正确工作方式，那就是安全方式。

### 2.8.2 工作服

工作时穿的衣服应选择在工作时能保护你的衣服。当然，每个人都不会在同一种环境下工作，因此，在这里只提及一些一般性的安全建议。其他的建议可能当你在某个特定区域工作的时候就会自然显现出来了。

- 1. 根据工作需要佩戴安全帽保护头部。长头发应该隐藏起来，并且它们不能自由移动。出于人身安全考虑，短头发更安全。
- 2. 戴护目镜。



3. 不要打领带。
4. 穿长袖衬衫，袖口紧紧扣在手腕附近。
5. 把裤腿塞进安全鞋里或紧紧固定在脚踝附近。
6. 不要戴戒指、耳环、项链和手镯。
7. 穿安全鞋。它们都应该有足弓垫和钢趾或安全趾。鞋底在油性或潮湿的表面上不应打滑。在潮湿的场所应穿胶靴。

### 2.8.3 断电

如果电路没有通电，那么当你在这条线路及连接它的设备上工作时，是可以防止电击的。所以工作前要切断电源，断开熔丝。如果它有锁定功能，确保使用它——锁上锁，并且拿着钥匙。

发现任何不安全的情况后要报告给你的上司。一定要注意你自身和他人的安全。

### 2.8.4 安全使用电动机和发电机

使用电动机和发电机，与使用其他所有动力集中的设备一样都有潜在的危险。危险的程度可通过合理的设计、选择、安装和使用来大大降低，但不能完全消除危险。降低危险是用户、从动或驱动设备制造商，以及电动机或发电机制造商的共同责任。<sup>①</sup>

大多数制造商都会使其设备满足 NEMA 标准，以保证安全运行。然而，即使是精心制造的设备也可能以危险的方式进行安装或者操作。遵守安全注意事项是很重要的。用户必须根据负载和环境正确选择、安装和使用设备。

**设备选择** 在选择一台设备之前，你应该了解一下设备制造商的介绍，它一般在目录中。制造商通常设有工程部门来协助你选择合适的工作设备。如果需要的话，当地的销售代表或工厂代表通常会讲解更详细的信息。

**设备安装** 设备制造商或安装设备的工作人员在安装时必须注意。安装设备时，应遵循美国国家电气规程（NEC），当地的电气和安全法规，以及可以使用的职业安全与健康法案（OSHA）以减少对人身和财产的危害。

**设备使用** 适当选择接地、热和过电流的保护措施、外壳的类型以及良好的维护程序可以减少电击、火灾或爆炸的可能性。

#### 安全注意事项

1. 所有电动机、齿轮电动机和控制器必须有适当且安全的接地。如果不能正确接地可能会导致严重的人身伤害。

2. 不要把杂物插进电动机或其他设备的通风口。

3. 交流电动机的起动开关和换向器式电动机的电刷在正常运行时可能会产生火花。另外，外壳在绝缘或部件损坏的情况下会喷出火焰。因此，在有电动机、齿轮电动机和控制器的环境中应避免（或防止受其危害）易燃或可燃物的出现。

4. 当用在危险场所（易燃和易爆气体、蒸汽、灰尘）时推荐使用防爆或防尘防粉的产品。NEC 允许例外的情况，但在实行前要全面研究 NEC 和 NEMA 的安全标准。

5. 通风产品适用于清洁而干燥，以及冷却空气不受限制的地方。封闭产品适用于脏而潮湿的地方。对于户外、下水道等使用场合时，封闭产品必须有保护盖，同时保证空气

① 参见美国国家电气制造协会的标准出版物 NO. ANSI C51.1/NEMA MG2 电动机和发电机的选择，安装及使用指南及建筑安全标准。



流畅。

6. 湿气会降低电气绝缘，增加触电的危险。因此，在有电动机和控制器的地方应考虑避免（或保护）液体的出现。如果把所有开口密封起来，使用全封闭式电动机/齿轮电动机时将会减少危险。

7. 底盘控制器应适当保护或封闭起来，以防止带电电路与人体的可能接触。

8. 应适当注意旋转部件。起动前，要确保钥匙、皮带轮等已牢牢固定。应给旋转构件加上适当的防护罩以防止人身受到危害。

9. 维修或在设备上工作时，切断电源（这尤其适用于使用自动再起动而非手动再起动装置的设备）。图 2-9 所示为专门设计的开关和配电箱，它有回火钢制成的双重连锁搭扣和连锁拉环以确保更安全。出于安全考虑，每当有人在该电路或设备上工作时应该锁上箱子。这样其他人在另一处工作时无法接通电源。

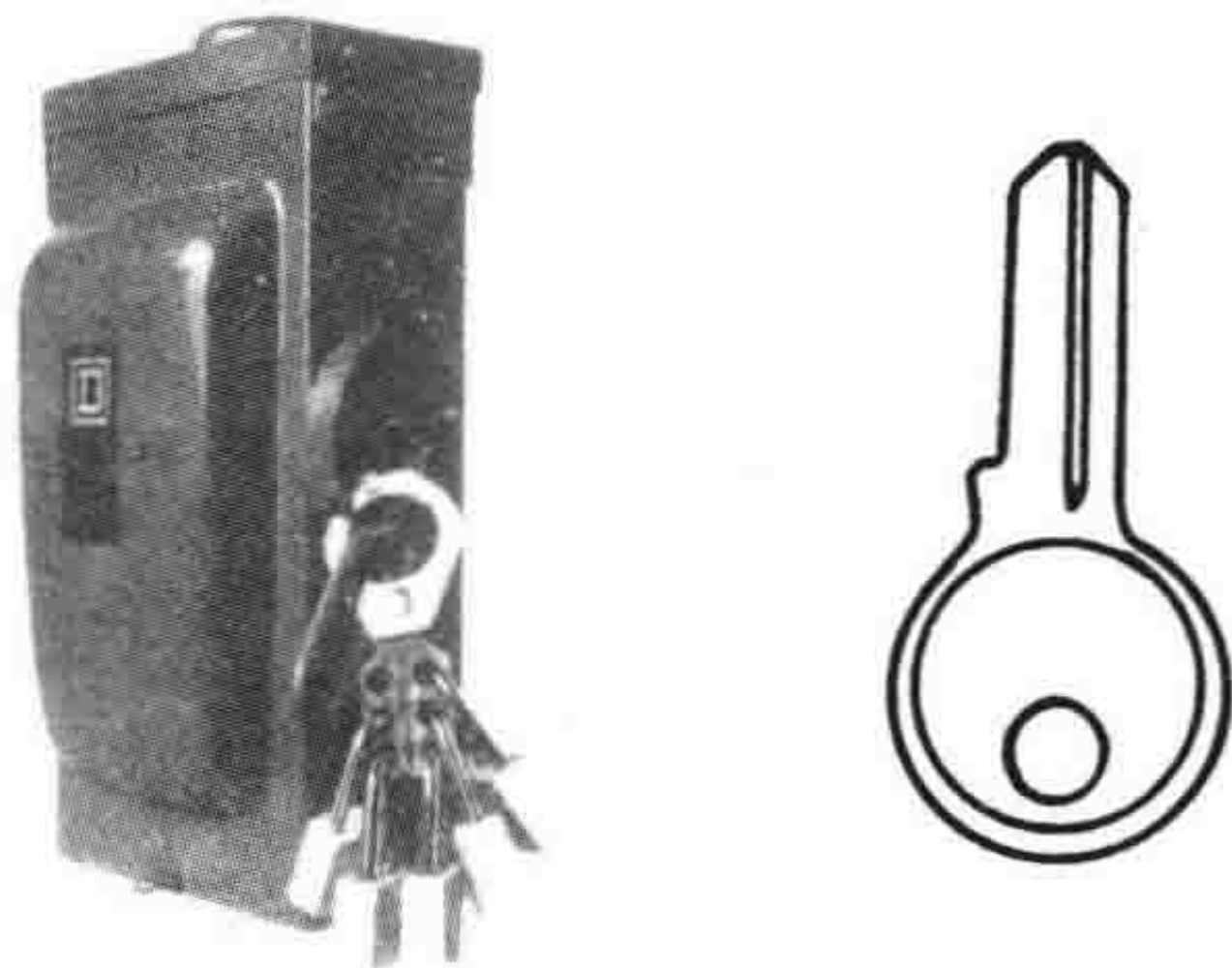


图 2-9 出于安全目的锁上的箱子（Klein 产品）

10. 在选择、安装和使用设备时，除了要考虑电气危害之外，还应该考虑机械故障的危害。要考虑的机械因素包括正确安装和调试设备，轴系传动装置安全载荷，不要依赖齿轮摩擦带负载。

11. 设备周围的环境温度应不超过  $40^{\circ}\text{C}$  ( $104^{\circ}\text{F}$ )，除非铭牌明确标明了允许更高的值。

12. 给所有设备供电的电必须与铭牌上标示的一致。

### 2.8.5 接地

在工业生产设备中，因接地故障而停机造成的影响可能是灾难性的。加工中断可能会导致所有相关材料的损失，同时常常会破坏加工设备本身，有时会使操作人员处于非常危险的境地。

接地涉及配电系统几个不同但相关的设计和施工因素，所有这些对安全且正确地操作该系统和由它供电的设备是必不可少的。其中包括设备接地、系统接地、防静电和雷击保护，以及连接到地作为参考（零）电位。

**设备接地** 设备接地对人身安全至关重要。它的功能是确保所有处于或靠近配电系统的结构和设备中其暴露在外面的非载流金属部件有相同的电位，也就是大地的零参考电位。NEC（第 250 条）和 NESC 都要求设备接地。设备接地还为接地故障电流提供了一条返回的通路，使得保护装置能够动作。

当系统中导电的导体偶然接触到系统中不带电的金属部分（如电动机的机座或配电盘外壳）时，会使不带电的金属物体的电位高于大地电位。这时如果有人在此触地的同时碰到这个物体可能会受到严重的伤害甚至死亡。另外，系统带电部分偶然接地时的电流能产生足够引起一场火灾的热量（通常是电弧引起的）。

设备的接地系统必须连接到配电电源或服务点的接地电极上，当然，它也可以在配电系统的许多其他地点进行接地。这不会给配电系统的安全运行带来问题。

在安装了计算机、数据处理或基于微处理器的工业过程控制系统的地方，设备的接地系统必须可以减少对它们正常运行的干扰。通常要求有独立的设备接地系统或完全独立的供电系统，来保护微处理器不受电力系统“噪声”的影响，电力系统的“噪声”并不以任何方式影响电动机或其他电气设备的运行。



**系统接地** 系统接地是指将从供电公司来的电源、变压器的二次绕组或发电机的中性点连接到地。系统可以直接接地（不经阻抗接地）、经阻抗接地（通过电阻或电抗）或不接地。

图 2-10 所示为直接接地的三相系统。它们通常是 Y 形联结，中性点接地。较少见的是  $\Delta$  联结，由一些供电公司供电的 240V 系统通过一个绕组的中心抽头降到 120V 后可用于照明。这种 240V 的三相四线制系统用在既有三相负载又有单相负载的地方，并且相比于 240V 的负载，120V 的照明负载较小。这种接线方式对供电公司来说成本较低。

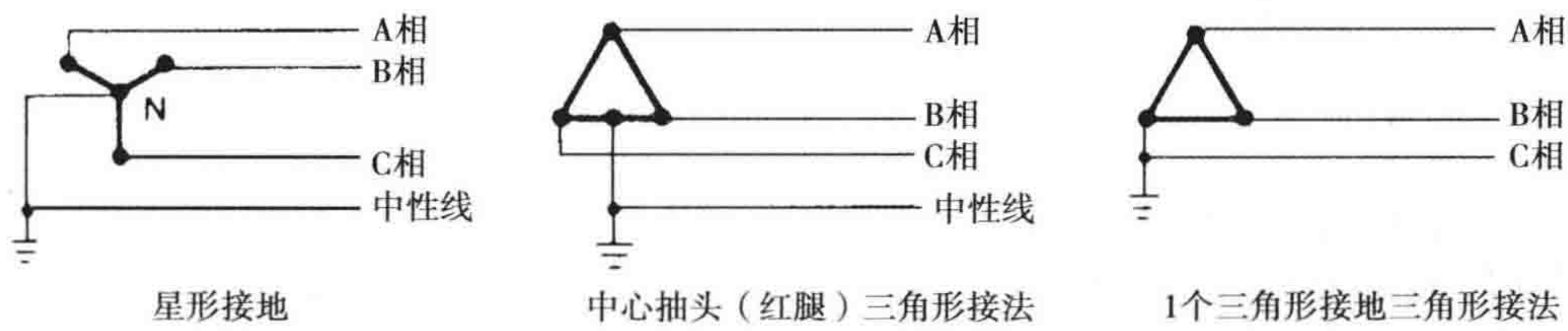


图 2-10 直接接地的三相系统（Westinghouse 产品）

B 相接地的三角形联结有时会用（注：现在已很少使用），一相接地以稳定全系统对地的电压。新建系统有更好的解决方案。不接地系统（如图 2-11 所示）可以是 Y 联结也可能是  $\Delta$  联结，尽管不接地的三角形系统更为常见。

经电阻接地系统的星形联结（如图 2-12 所示）是最简单的，它的中性点直接通过电阻接地。三角形联结的系统可以通过 Z 形或其他类型的接地变压器接地。这种接法引出中性点，直接或者通过阻抗接地。如果接地变压器具有足够大的容量，引出的中性点可直接接地并作为三相四线制系统的一部分。大多数变压器供电的系统都是直接接地或经电阻接地的。发电机的中性点往往通过电抗器接地，以将接地故障（零序）电流限制在发电机可以承受的范围内。中压经电阻接地的中性点往往通过一个接地变压器接地，虽然很多 2400V 和部分 4160V 系统与低压系统一样也是直接接地的。

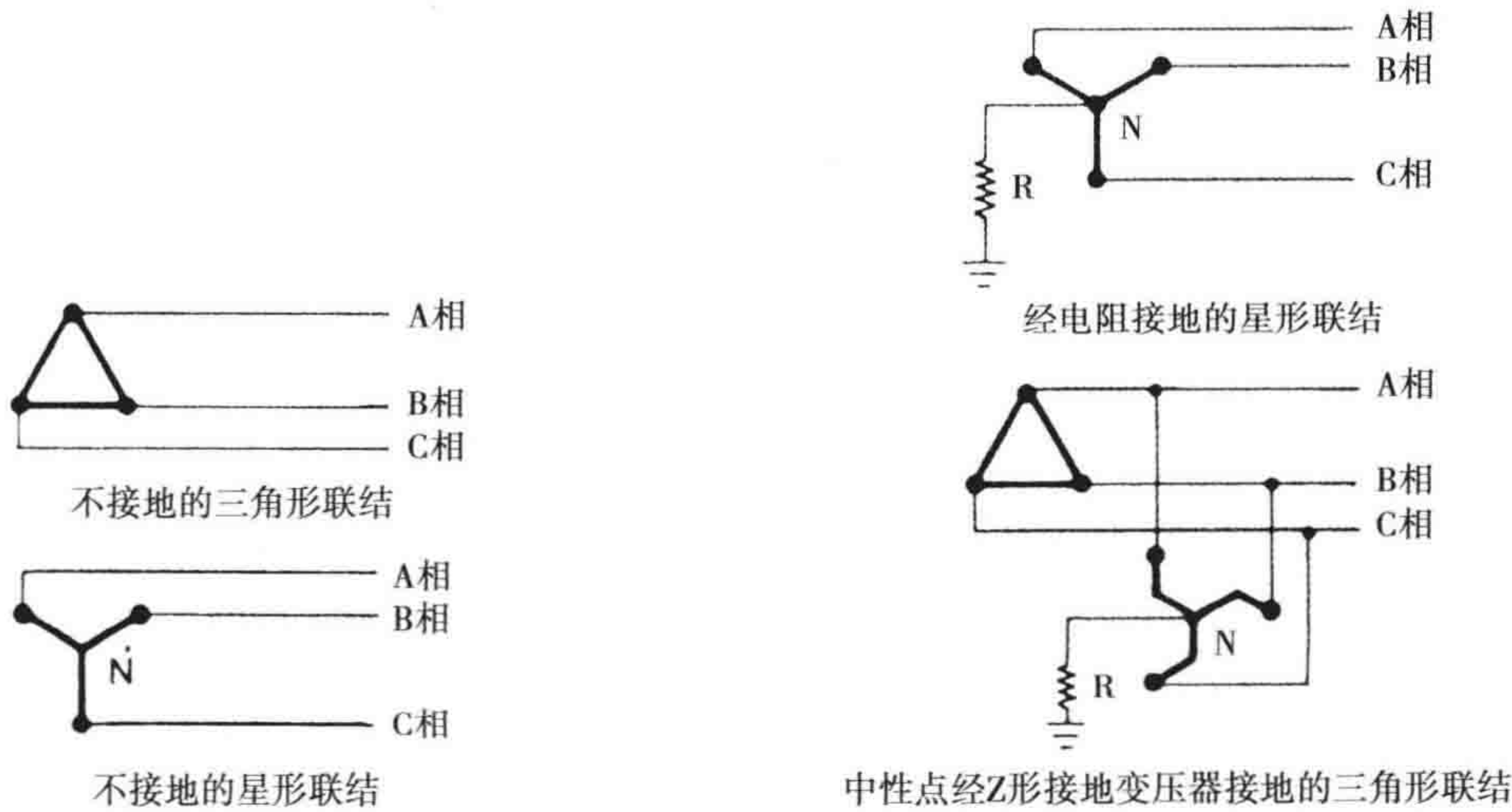


图 2-11 不接地的系统（Westinghouse 产品）

图 2-12 经电阻接地的系统（Westinghouse 产品）

**哪种系统是最好的？** 没有适用所有情况的最好的配电系统，这就是为什么你会在任何一个发电厂都能发现这些系统中的任何一个。在选择直接接地、经电阻接地或不接地的配电系统时，必须根据动力负载、照明负载、供电连续性、安全性以及成本等方面的要求来衡量该



系统的特性。

2.9 思考题

1. 如果致命的不是电压，那是什么？

2. 多大的电流能使人致命？

3. 什么是心室纤维性颤动？

4. GFCI 代表的含义是什么？

5. NEC 代表的含义是什么？

6. 列举两个过电流装置。

7. 如何描述过载？

8. 什么是熔断体？

9. 如何规定双元件熔断器的外形大小？

10. 现在使用的最高输电电压是多少？
11. 什么是美国国家电气规程？

12. 美国安全检测实验室的作用是什么？

13. 加拿大标准协会的作用是什么？

14. OSHA 代表的含义是什么？

15. IEEE 和 ANSI 代表的含义是什么？

16. OSHA 色码中的橙色表示什么含义？

17. 为什么不能在电气火灾中使用水型灭火器？

18. 如何减少触电的风险？

19. 什么是接地？什么是系统接地？

20. 你在哪里能见到经阻抗接地的系统？

2.10 练习题

电能可通过电阻转化为热能。在电气领域，热和电是密切相关的，特别是电阻比较大时。为了帮助你安全处理和放置这些产生热量的设备，回顾一下功率的计算公式，它可能会派上用场。

$P=E\times I$      $P=E^2/R$      $P=I^2\times R$

1. 流过螺线管的电流为 4.5A，当连接到 12V 电源上时，操作它需要多大功率？

2. 电压为 120V 时流过一个聚光灯的电流为 2.5A，它会产生多大功率？

3. 120V/150W 的电灯接到电源上时会产生多大电流？
4. 一个 24V 变压器传输 1500W 的功率时，电流多大？

5. 一个 500Ω 的电阻连接到 277V 的电源上时，消耗多少功率？

6. 一台电压为 240V，功率为 0.5hp（1hp=746W）马力的电动机会产生多大的电流？

7. 如果一台 5hp 的电动机连接到 240V 的电源线上，则会产生多大电流？

8. 一台线电压为 120V 的 2hp 电动机需要多大电流？



## 第 3 章

# 符 号

### 3.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 绘制电气接线图和梯形图中使用的符号。
2. 利用电阻色标来选择大小合适的电阻。
3. 识别继电器触点符号。
4. 识别电子原理图符号。

在电动机控制领域中，工程师和技术人员之间沟通的主要手段——电气接线图和梯形图，不外乎是由连接起来的某些符号组成的。

符号作为一种简写形式，能够表示很多电气功能，并能在很小的区域内绘制出来。熟悉电气符号的人们能够识别某些元件，并能指出它们是如何接入电路以及怎样操作的。

符号是任何接线图的核心。由于它们是工作中非常重要的一部分，因此最好在学习电气行业的初级阶段就熟悉它们。

### 3.2 电气符号

电气符号一般用在建筑物和工厂的设计蓝图和接线图中。图 3-1 所示符号是为绘图员使用的，它们是布置电气设备和控制设备接线图的标准化符号。

#### 3.2.1 常见的开关（按钮）符号

电动机控制技术人员操作开关（按钮）及其相关部件，可使电动机按照预期设计运行（正常运行）。图 3-2 所示为某些开关的符号。注意压力和真空开关、液位开关、温控开关以及流量开关，它们将会被电动机控制技术人员用在很多应用中。开关也可以称为按钮。

#### 3.2.2 标准接线图符号

图 3-3 所示符号是你将要学习的接线图中使用的一些基本符号。所有这些都将在工业或商业装置中使用电动机的常规控制接线图里遇到。

图 3-3 所示的接线图符号被 Square D 采用，并符合美国电气制造商协会建立的标准。




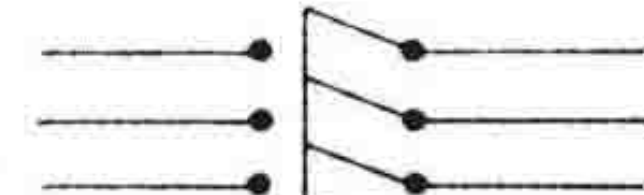
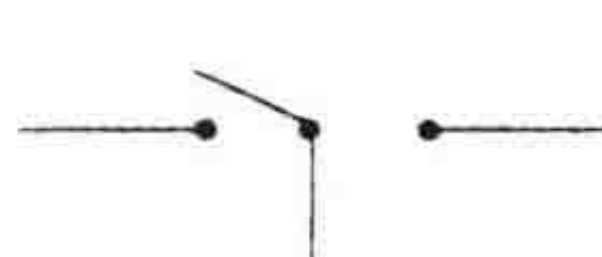
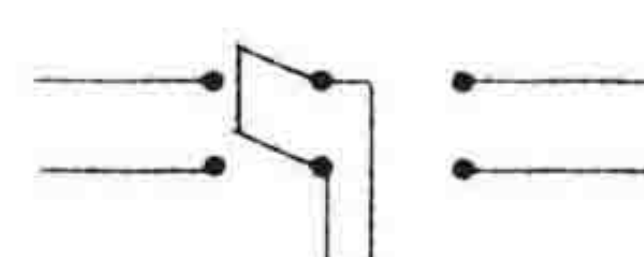
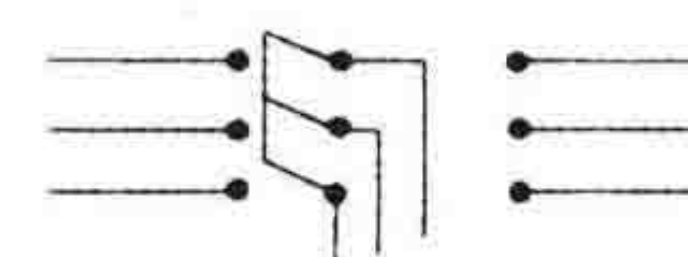
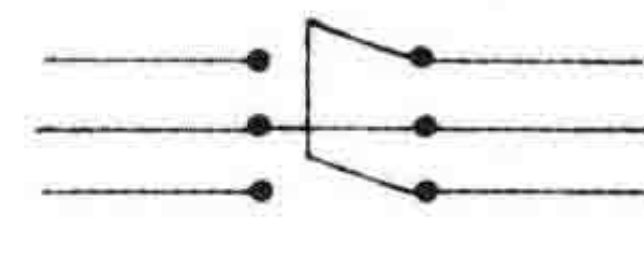
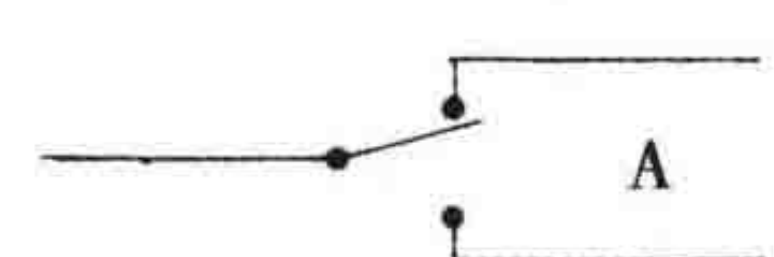
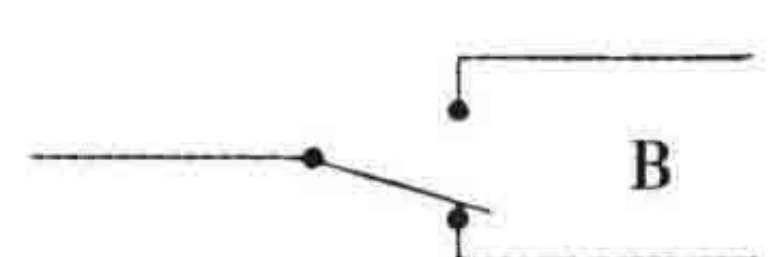
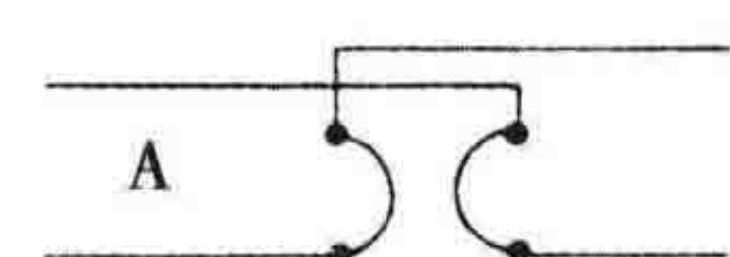
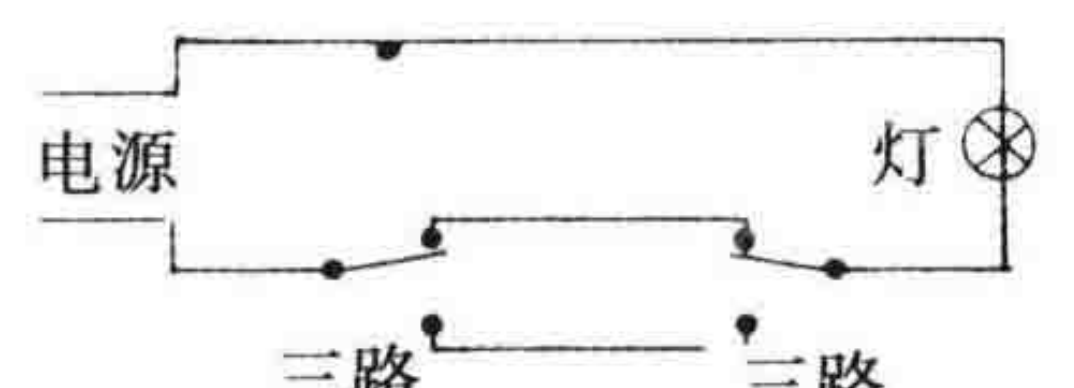
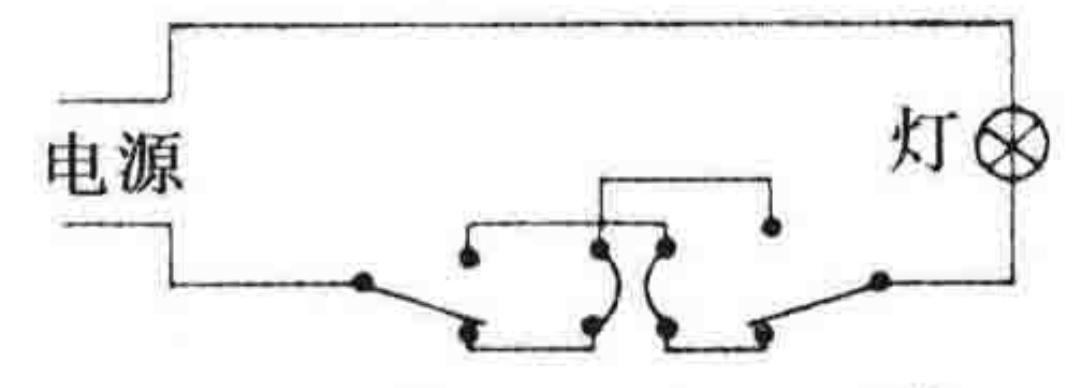


1. 照明出线			
天花板	墙壁		
1.1 明装或吊装白炽灯, 汞气灯或类似灯具			
1.2 嵌入式白炽灯, 汞气灯或类似灯具			
1.3 明装或吊装独立荧光灯具			
1.4 嵌入式独立荧光灯具			
1.5 明装或吊装荧光灯具			
1.6 嵌入式荧光灯具			
1.7 裸光源荧光带			
1.8 明装或吊装安全出口灯			
1.9 嵌入式安全出口灯			
1.10 空白插座			
1.11 接线盒			
1.12 继电器安装在插座盒内时, 低压开关控制插座			
2. 插座出线			
接地	不接地		
2.1 单位插座			
2.2 双位插座			
2.3 三位插座			
2.4 四位插座			
2.5 双位插座-分裂接线			
2.6 三位插座-分裂接线			
2.7 单位特殊用途插座			
2.8 双位特殊用途插座			
2.9 插座出线范围			
2.10 特殊用途接线或提供接线			
2.11 多引线部件			
2.12 吊钟插座			
2.13 吊扇插座			
2.14 单地面插座			
2.15 双地面插座			
2.16 特殊用途地面插座			
3. 开关出线口			
3.1 单刀开关			S
3.2 双刀开关			S2
3.3 三路开关			S3
3.4 四路开关			S4
3.5 键控开关			SK
3.6 开关和指示灯			SP
3.7 低压系统开关			SL
3.8 低压系统中的主控开关			SLM
3.9 开关和单位插座			
3.10 开关和双位插座			
3.11 门开关			SD
3.12 定时开关			ST
3.13 断路器			SCB
3.14 用于非信号系统的瞬时接触开关或按钮			SMC
3.15 顶棚拉线开关			
4. 居所电器			
4.1 按钮			
4.2 蜂鸣器			
4.3 门铃			
4.4 门铃和蜂鸣器的组合			
4.5 音乐电铃			CH
4.6 报讯器			

图 3-1 建筑设计用电气符号



常见开关符号

 单刀单掷	 双刀单掷	 三刀单掷	 四刀单掷
 单刀双掷	 双刀双掷	 三刀双掷	 四刀三刀中间线实接掷
 三路开关有三个端子和两个工作位A和B		 四路开关有四个端子和两个工作位A和B	
 灯可以在两个开关的任意一处打开或关闭，图示灯处于打开状态		 灯可以在三个开关的任意一处打开或关闭，图示灯处于关闭状态	

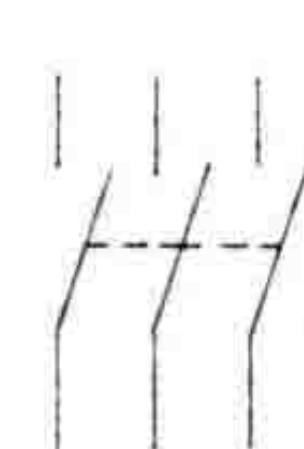
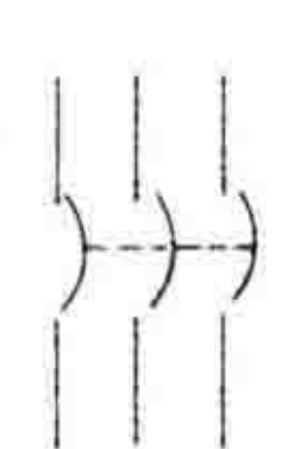
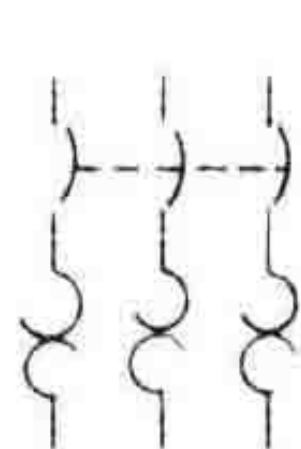
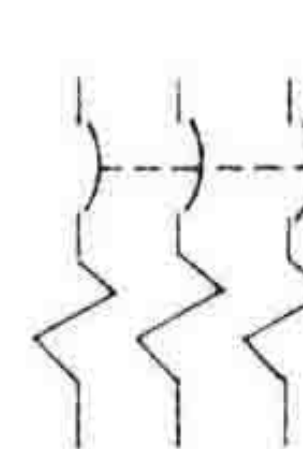
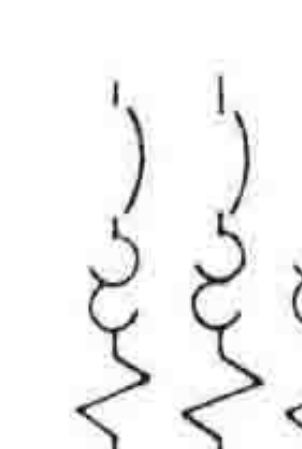
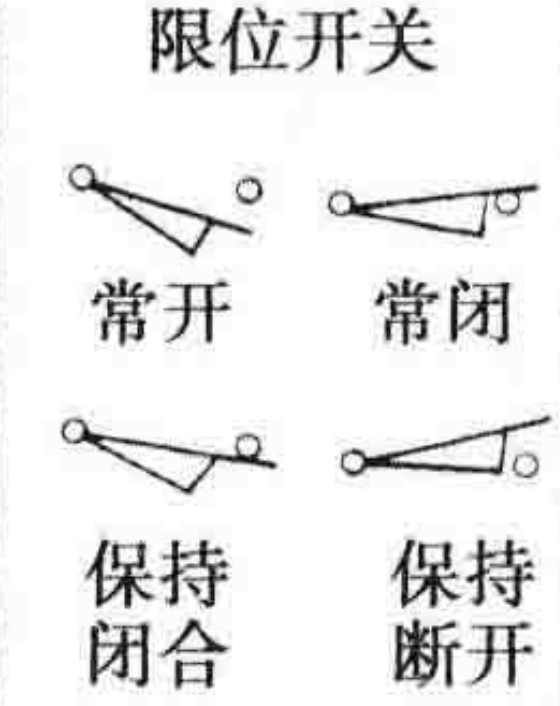
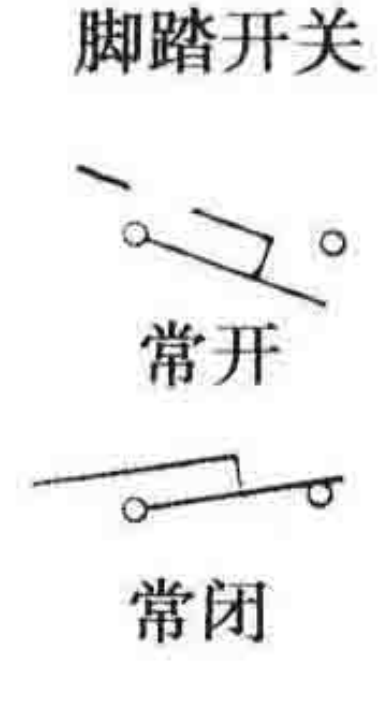
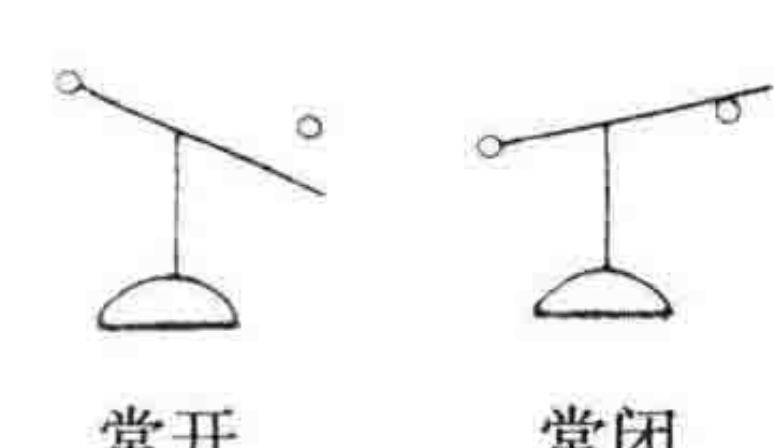
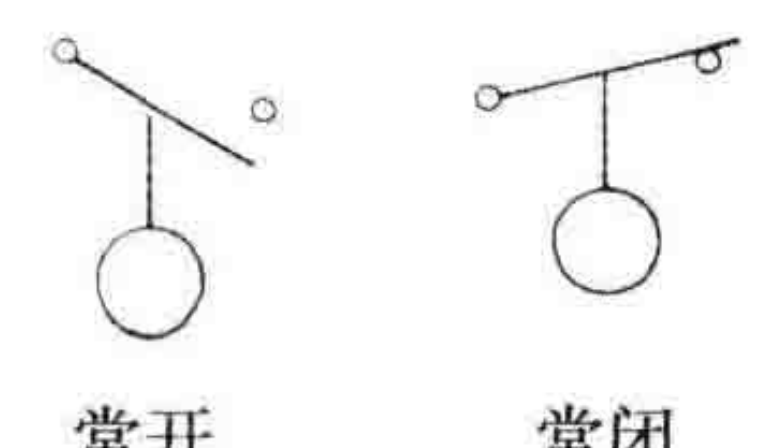
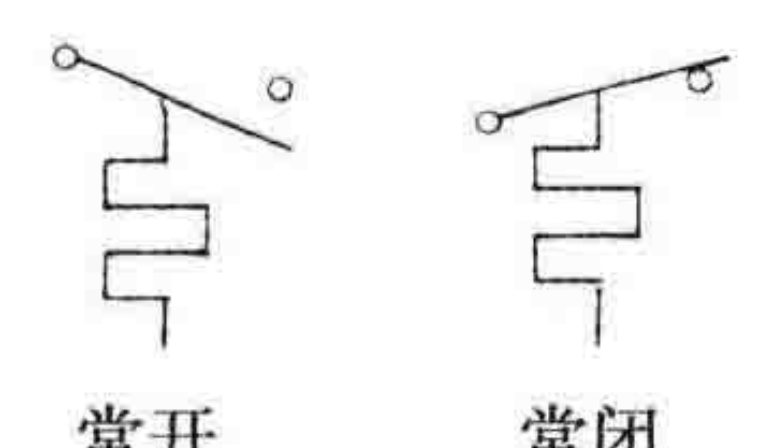
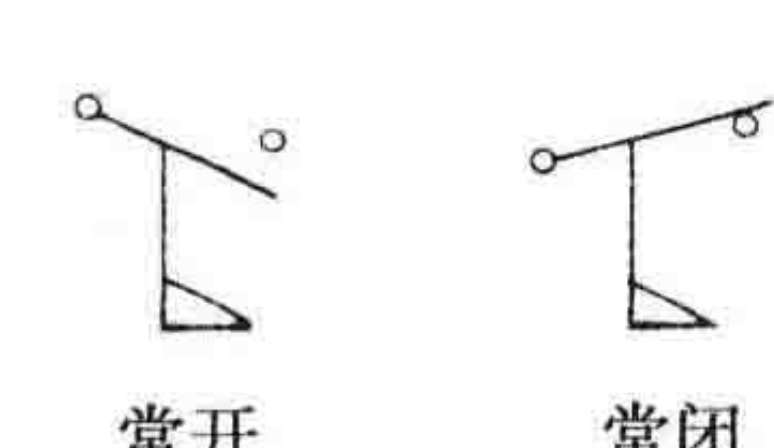
 隔离开关	 断路器	 热式过载 断路器	 磁式过载 断路器	 热磁式过载 断路器	 限位开关 常开 常闭 保持 闭合 保持 断开	 脚踏开关 常开 常闭
 压力与真空开关 常开 常闭		 液位开关 常开 常闭		 温控开关 常开 常闭		 流量开关 (空气、水等) 常开 常闭

图 3-2 通用开关的电气符号



开关															
隔离开关		断路器		热式过载 断路器		磁式过载 断路器		热磁式过载 断路器		限位开关		脚踏开关			
										常开	常闭	常开	常闭		
										保持闭合	保持断开				
压力与真空开关			液位开关			温控开关			流量开关（空气、水等）						
常开		常闭		常开		常闭		常开		常闭		常开		常闭	
转速（反向制动）			防止反向 制动		选 择										
					两位置			三位置			两位置选择器按钮				
					1—触点闭合			1—触点闭合			1—触点闭合				
按 钮										指示灯					
瞬时触点					保持触点			照明		字母代表颜色					
单回路		双回路		蘑菇头 按钮	摆动杆	单双 回路	双单 回路		不按下测试		按下测试				
常开	常闭	常开与常闭													
触点							线圈		过载继电器		电抗器				
瞬时动作				定时器触点——触点延时动作			并励	串励	热	磁	铁心				
带灭弧		不带灭弧		线圈得电		线圈失电									
常开	常闭	常开	常闭	延时闭合	延时断开	延时断开					延时闭合				
变压器				交流电动机					直流电动机						
自耦	铁心	空心	电流	双电压	单相	三相 笼型	两相 四线	绕线 转子	电枢	并励 磁场	串励 磁场	复励或 补偿磁场			
										(显示 4环)	(显示 3环)	(显示 2环)			

SPST, NO		SPST, NC		SPDT		术语
单断点	双断点	单断点	双断点	单断点	双断点	
						SPST 单刀单掷
						SPDT 单刀双掷
DPST, 2NO		DPST, 2NC		DPDT		DPST 双刀单掷
单断点	双断点	单断点	双断点	单断点	双断点	DPDT 双刀双掷
						NO 常开
						NC 常闭

图 3-3 标准接线图符号（Square D 产品）



3.3 电子元器件符号

电子学领域有自己的用于绘制接线图的符号。越来越多的电子元器件用在电动机控制中(见图 3-4 和图 3-5)。

<div><div><div><div><div></div><div>集电极</div></div><div><div>基极1</div><div>基极2</div></div><div><div></div><div>发射极</div></div></div><div><div><div></div><div>NPN四极晶体管</div></div><div><div>C</div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>阳极</div></div><div><div></div><div>阴极</div></div></div><div><div><div></div><div>稳压二极管</div></div><div><div>F</div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>基极1</div></div><div><div>基极2</div></div><div><div></div><div>发射极</div></div></div><div><div><div></div><div>PN结晶体管 (双基极二极管)</div></div><div><div>I</div></div></div></div></div>	
<div><div><div><div><div></div><div>阴极</div></div><div><div>阳极</div><div>门极</div></div></div><div><div><div></div><div>可控硅 (SCR)</div></div><div><div>D-1</div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>双向稳压 二极管</div></div><div><div>G</div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>注射极 (发射极2)</div></div><div><div>基极</div><div>集电极</div></div><div><div></div><div>发射极2</div></div></div><div><div><div></div><div>四极PNPN 晶体管</div></div><div><div>J</div></div></div></div></div>	
<div><div><div><div><div></div><div>阳极</div></div><div><div>门极</div><div>阴极</div></div></div><div><div><div></div><div>PNPN晶体管</div></div><div><div>D-2</div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>阳极</div></div><div><div></div><div>阴极</div></div></div><div><div><div></div><div>江崎二极管 (隧道二极管)</div></div><div><div>H</div></div></div></div></div>	<div><div><div><div><div></div><div>阳极</div></div><div><div></div><div>阴极</div></div></div><div><div><div></div><div>四层二极管</div></div><div><div>K</div></div></div></div></div>	
导线		电阻	
电力线	控制线	固定电阻	固定抽头的 可调电阻
<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div>RES</div></div> <div><div>H</div><div>加热元件</div></div>	<div><div>RES</div></div>
			可调抽头的 变阻器
			<div><div>RH</div></div>
连接线	报讯器	门铃	蜂鸣器
机械式	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>
机械联锁			
<div><div></div></div>			<div><div></div></div>
仪表分流器	全波整流器	热电偶	电子管
<div><div></div></div>	<div><div>AC</div><div>DC</div><div>DC</div><div>AC</div></div>	<div><div></div></div>	<div><div>管中黑点 表示气体</div><div>点火器</div></div>

图 3-4 电子元器件符号





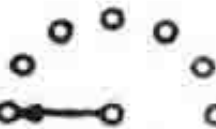



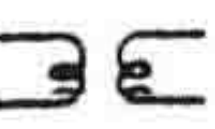





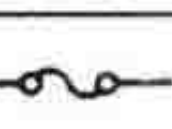



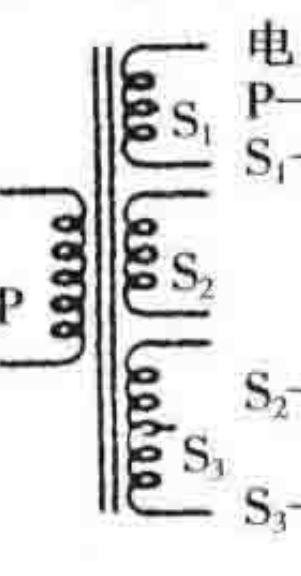
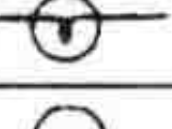
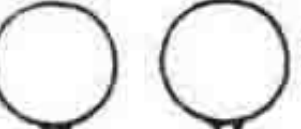
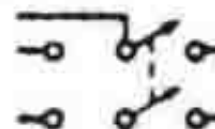

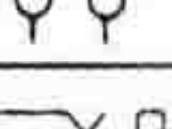



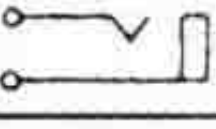

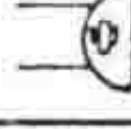
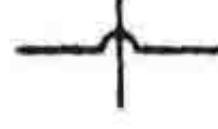

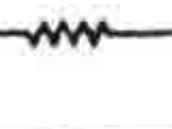




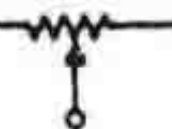
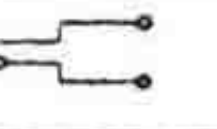
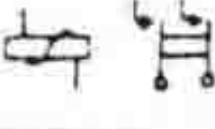
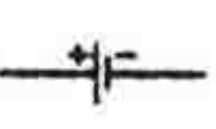

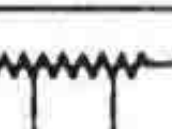
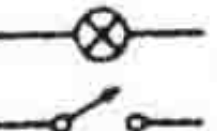




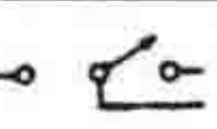

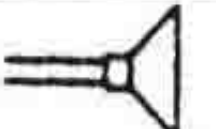
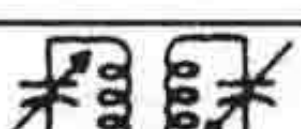

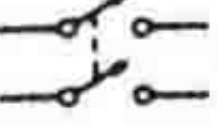


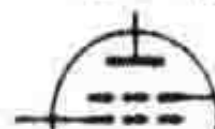








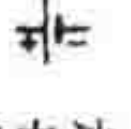
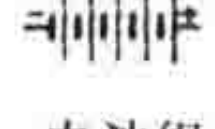

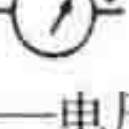

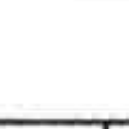




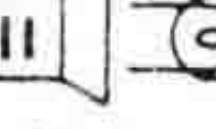
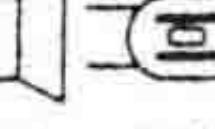
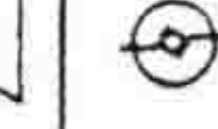





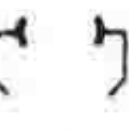



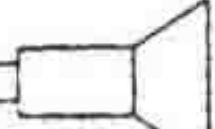

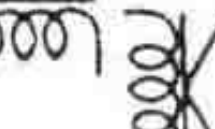

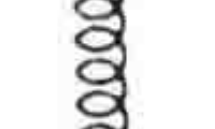


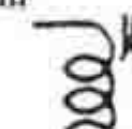
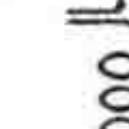

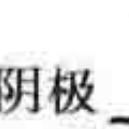
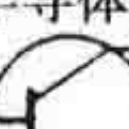
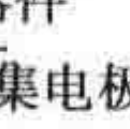

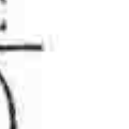




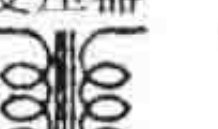
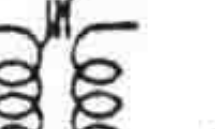



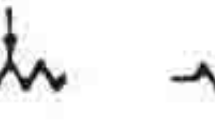
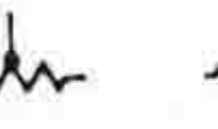
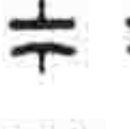
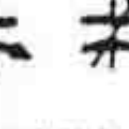
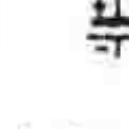

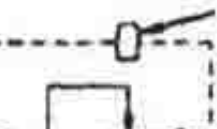


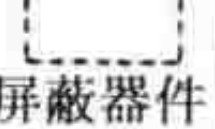

 天线	 铁心扼流线圈	 开关 (旋转或选择)	 真空管门极	 NPN晶体管
 地	 射频变压器 (空心)	 晶体检波器	 真空管屏极	 PNP晶体管
 天线 (环形)	 声频变压器 (铁心)	 避雷器	 三极真空管 (三极管)	 光电管
 布线法1 连接	 电力变压器 P—115V一次侧 S <sub>1</sub> —用于信号电路 电子管灯丝的中心抽头二 次侧 S <sub>2</sub> —用于整流管灯 丝的二次侧 S <sub>3</sub> —中心抽头的高 压二次侧	 指示灯	 校准键八引脚 电子管	 双刀双掷开关 DPDT
 无连接		 头戴式耳机	 阴极射线管	 传声器(碳粒)
 布线法2 连接		 插孔	 整流器(硒)	 传声器(晶体)
 无连接	 固定电容器 (云母或纸介质)	 电阻	 头戴式耳机 (单边)	 传声器 (活动铁心)
 端子	 固定电容器 (电解)	 电位器 (大小调节)	 听筒插头	 继电器
 单电池或 “A” 电池	 可调电容器	 抽头式电阻器 或分压器	 单刀单掷开关 SPST	 变阻器
 多电池或 “B” 电池	 可调电容器 (同轴)	 真空管加热器 或灯丝	 单刀双掷开关 SPDT	 空心扼流线圈
 扬声器 动态PM	 中频变压器 (双调谐)	 真空管阴极	 双刀单掷开关 DPST	
<div>电子管</div> <div> 二极管</div> <div> 三极管</div> <div> 四极管</div> <div> 五极管</div> <div> 束射功率管</div> <div> 五极管 变频器</div> <div> 双二极管 三极管</div> <div> 充气 整流器</div> <div> 光电管</div> <div> 高压 整流器</div> <div> 眼管</div> <div>电池</div> <div> 单电池</div> <div> 电池组</div> <div>仪表</div> <div> A—电流表</div> <div> V—电压表</div> <div> G—电流计</div> <div> MA—毫安表</div> <div>灯</div> <div> 灯丝</div> <div> 氛</div> <div>传声器</div> <div> 通用 单按钮</div> <div> 双按钮</div> <div> 电容式</div> <div> 电动</div> <div> 晶体</div> <div>交流电压源</div> <div></div>				
<div>管件</div> <div> 灯丝</div> <div> 阴极</div> <div> 门极</div> <div> 屏极</div> <div> 聚束极</div> <div> 光阴管</div> <div> 冷阴极</div> <div> 充气</div> <div>传声器</div> <div> 通用</div> <div> 永磁—</div> <div> 电动—</div> <div> 电磁</div> <div> 静电</div> <div>电抗器</div> <div> 空心</div> <div> 磁心</div> <div> 可调磁心</div> <div> 继电器</div>				
<div>半导体器件</div> <div> 或阴极</div> <div> 基极</div> <div> 集电极</div> <div> 发射极</div> <div> PNP型晶体管</div> <div> NPN型晶体管</div> <div>频率</div> <div></div> <div>拾音器盒</div> <div></div> <div>变压器</div> <div> 电力</div> <div> 空心</div> <div> 铁心</div> <div> 可调磁心</div> <div> 自耦</div> <div> 中频</div>				
<div>电阻</div> <div> 固定</div> <div> 可调</div> <div> 抽头式</div> <div>电容</div> <div> 固定</div> <div> 可调</div> <div> 电解</div> <div> 非极化 电解</div> <div>热断路器</div> <div> 复位 按钮</div> <div>屏蔽</div> <div> 屏蔽线</div> <div> 屏蔽线对</div> <div> 屏蔽器件</div> <div> 导线屏蔽</div> <div>Ω 欧姆 k 1000 MEG 1000 000 mF 微法 H 亨利 mH 毫亨</div>				

图 3-5 更多电子元器件符号（包括旧的和新的）

3.3.1 电阻色标

学会怎样读电阻色标是很有用的。很多电子控制电路中都有用色标标出阻值的电阻。色标用于标示阻值处于 0.1~2W 的电阻。小小的电阻是很有用的，特别是在电流小的电子电路中。与直接和电动机绕组串联的大型绕线类电阻相比，它们通常具有较大的阻值，如图 3-6 所示。



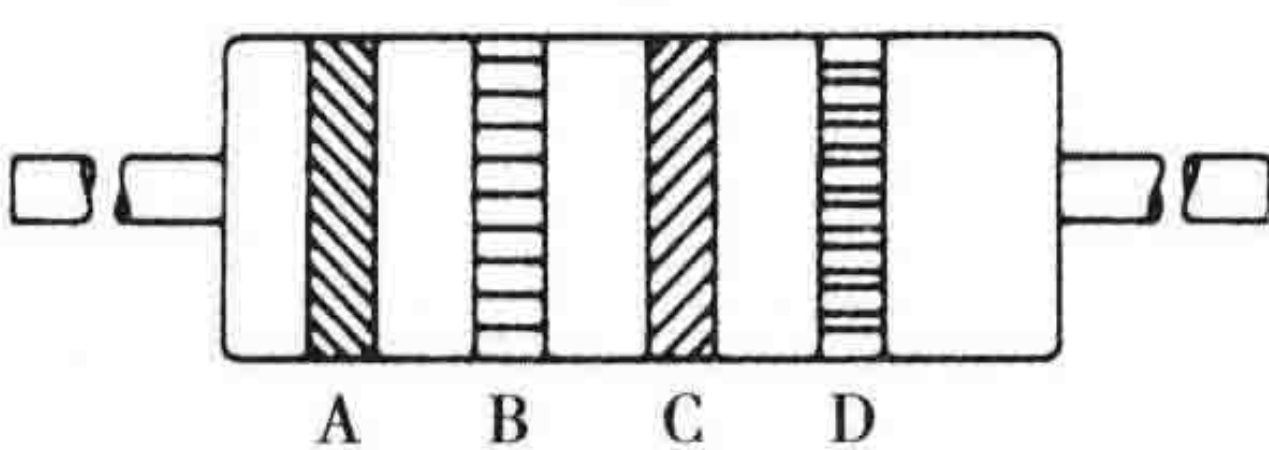
颜色	有效数字	乘方值	EIA/MIL 色标
黑	0	1	<div></div> <div>环 A——第一位有效数字 环 B——第二位有效数字 环 C——0 的个数或 10 的乘方值 环 D——允许误差</div>
棕	1	10	
红	2	100	
橙	3	1000	
黄	4	10 000	
绿	5	100 000	
蓝	6	1 000 000	
紫	7	10 000 000	
灰	8	100 000 000	
白	9	1 000 000 000	
金	±5% 的允许误差	0.1	
银	±10% 的允许误差	0.01	
无色	±20% 的允许误差		

图 3-6 电阻色标

3.3.2 电子元器件符号的对比

图 3-7 所示的是两种符号的对比，左边为常见的电子元器件符号，右边是工业控制符号。这能让你在看接线图的时候知道它们可能会有什么不同。在大多数情况下，电容器的符号是由一条直线和与它平行的曲线构成的。显示旧的符号是为了让你能看懂那些藏在柜子里老的原理图或接线图。

3.4 继电器触点符号

在控制电动机时你会接触很多的器件，其中就有继电器。图 3-8 所示为可能会用到的基本继电器的触点符号。操作继电器时，必须牢牢记住闭合和断开意味着什么。单刀单掷型继电器与开关符号类似。要记住，开关触点的作用是什么，继电器触点的作用是什么——它们都是用来接通或断开电路的。




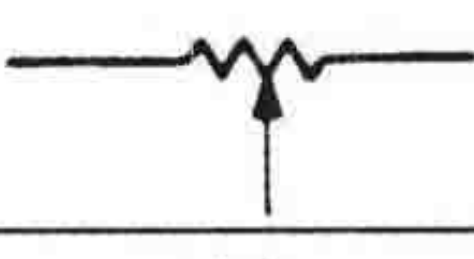
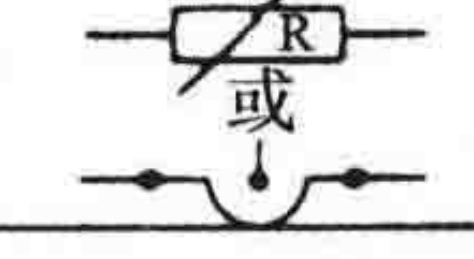
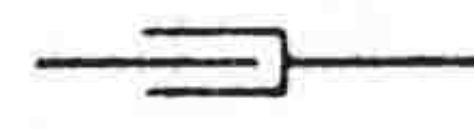
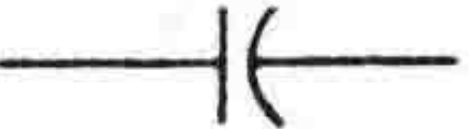
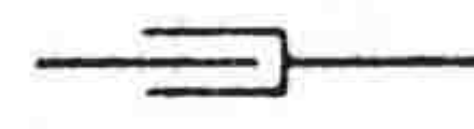
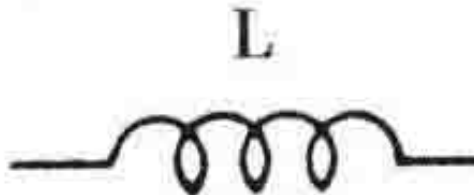

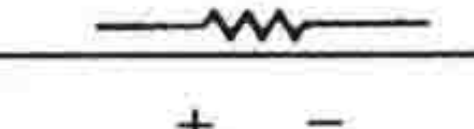

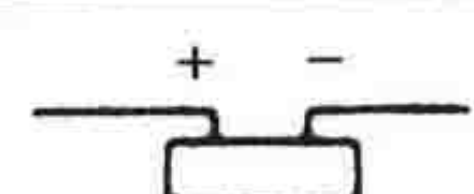


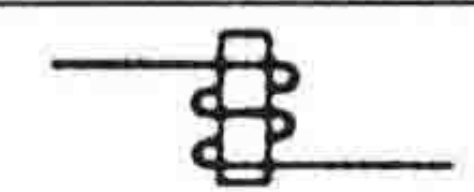

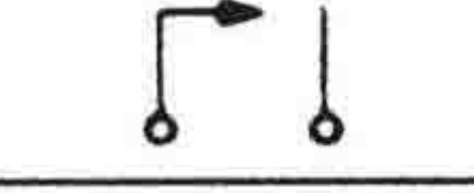
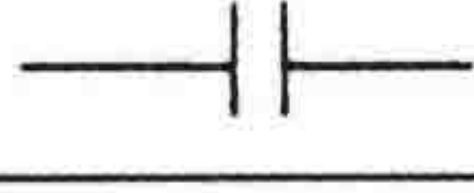
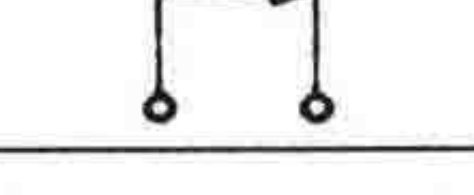
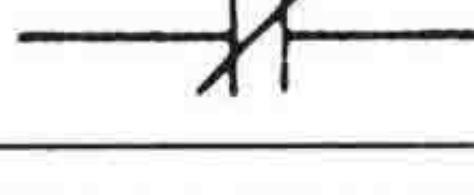
常用电子 元器件符号		工业电子 元器件符号
	电阻	 或 
	电位器	 或 
	电容器	
	电抗器	 或 
	电池	
	熔丝	
	继电器线圈	
	继电器触点 常开 (NO)	
	继电器触点 常闭 (NC)	

图 3-7 工业电子元器件符号与常用电子元器件符号的比较



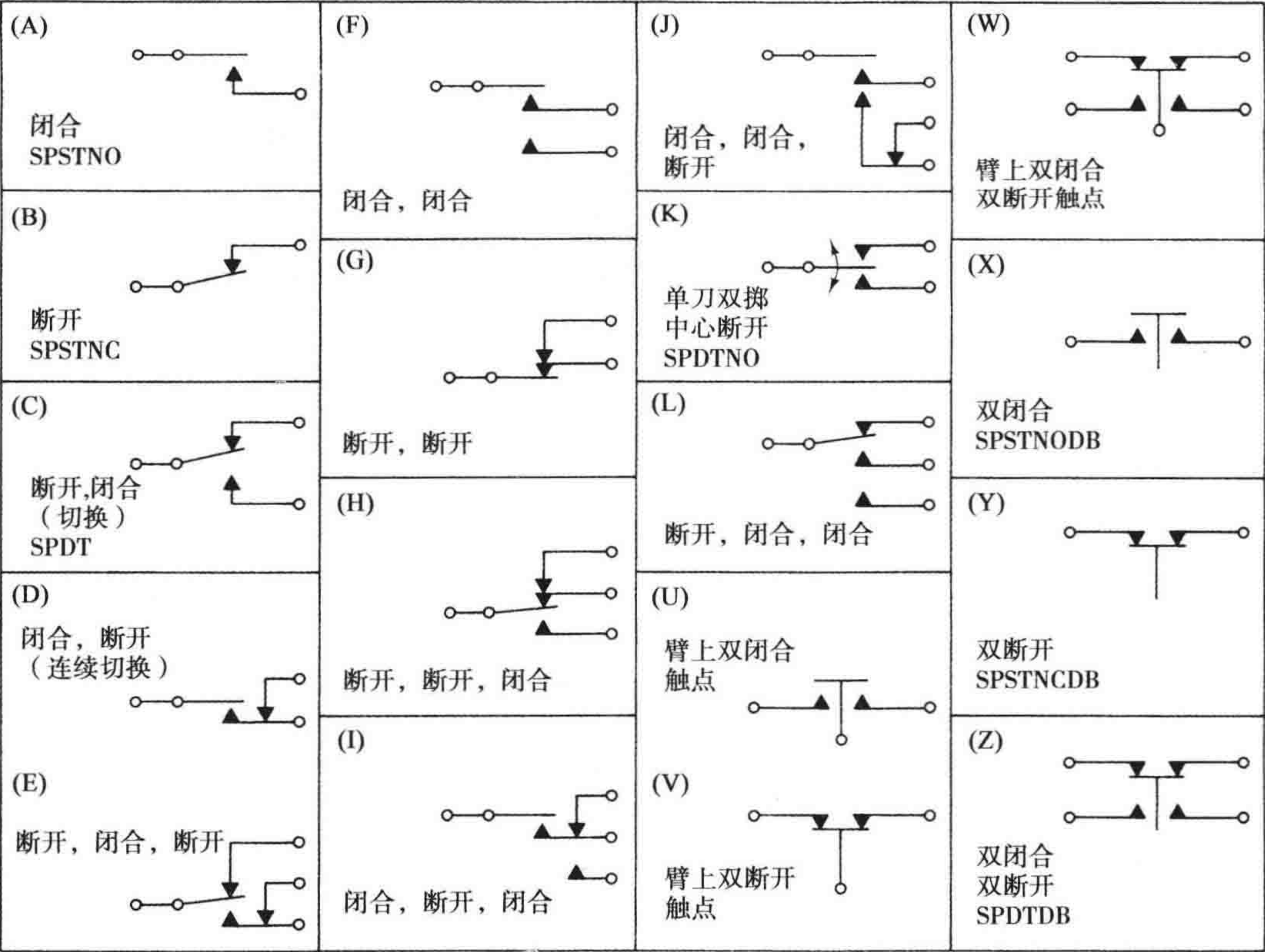


图 3-8 基本的继电器触点符号

3.5 线路图、接线图和梯形图

不同类型的图纸和表格在第 4 章会有更详细的涉及。然而，现在我们先来仔细看看动作中的符号。

梯形图中使用的符号如图 3-9 所示。要注意图中有线 1 (L1) 和线 2 (L2) 两根电源线，各种设备连接在这两条电源线之间。这个时候你应该关注电路中所画的触点与哪些被控设备相关，以及这些触点是常开 (NO) 还是常闭 (NC) 的，另外，你还要密切注意启动和停止开关。只要启动开关 (按钮) 合上，圆圈所示的 M 线圈就会得电。这将导致 M 触点 (与启动开关并联的常开触点) 由断开状态变为闭合状态。这样就形成了从 L1 到停止开关和启动开关，并通过 M 线圈和过载触点 (O.L.) 到 L2 之间的回路。一旦线圈得电，与启动开关并联的常开触点将保持闭合，启动开关就可以被释放了。然而，当停止开关打开时，它会导致该电路断电和 M 的常开触点再次断开，直到启动按钮再次闭合。

现在跳到图中的下一行线路中。注意到常闭 (NC) 触点上标有 M。这意味着，它们与 M 线圈或继电器相关。当 M 线圈得电的时候，这些触点断开，并关闭与触点串联的指示灯。

按钮位置布线图表示了按钮的实际位置、元器件的相对位置，建议的内部接线，以及启动开关的连接等。







# 第 4 章

## 控制电路与接线图

### 4.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

- 1. 绘制梯形图。
- 2. 解释如何在接线图中使用符号。
- 3. 描述欠电压释放和保护。
- 4. 识别两线控制电路。
- 5. 识别三线控制电路。
- 6. 描述线路图和接线图的区别。
- 7. 说明热保护装置的作用。

接线图会尽量展示设备所有组成部分的实际位置。用小圆圈表示开路的接线端子，用箭头表示需要用户接线。图 4-1 中写着“电动机”的圆圈上有 3 个离开圆圈的箭头，并分别标有 T1、T2、T3，这代表了一个三相电动机。T 代表电动机上可由电工技术员进行接线的端子。

图 4-1 给出了导线连接点和端子的符号，这种类型的接线图在对设备进行接线时或者是在排除故障查线时很有用。注意，粗线表示电源电路，细线表示控制电路。在大多数情况下，交流电磁设备的电源电路用黑线来表示，控制电路用红线来表示。学会如何阅读接线图和线路图对你会有帮助。

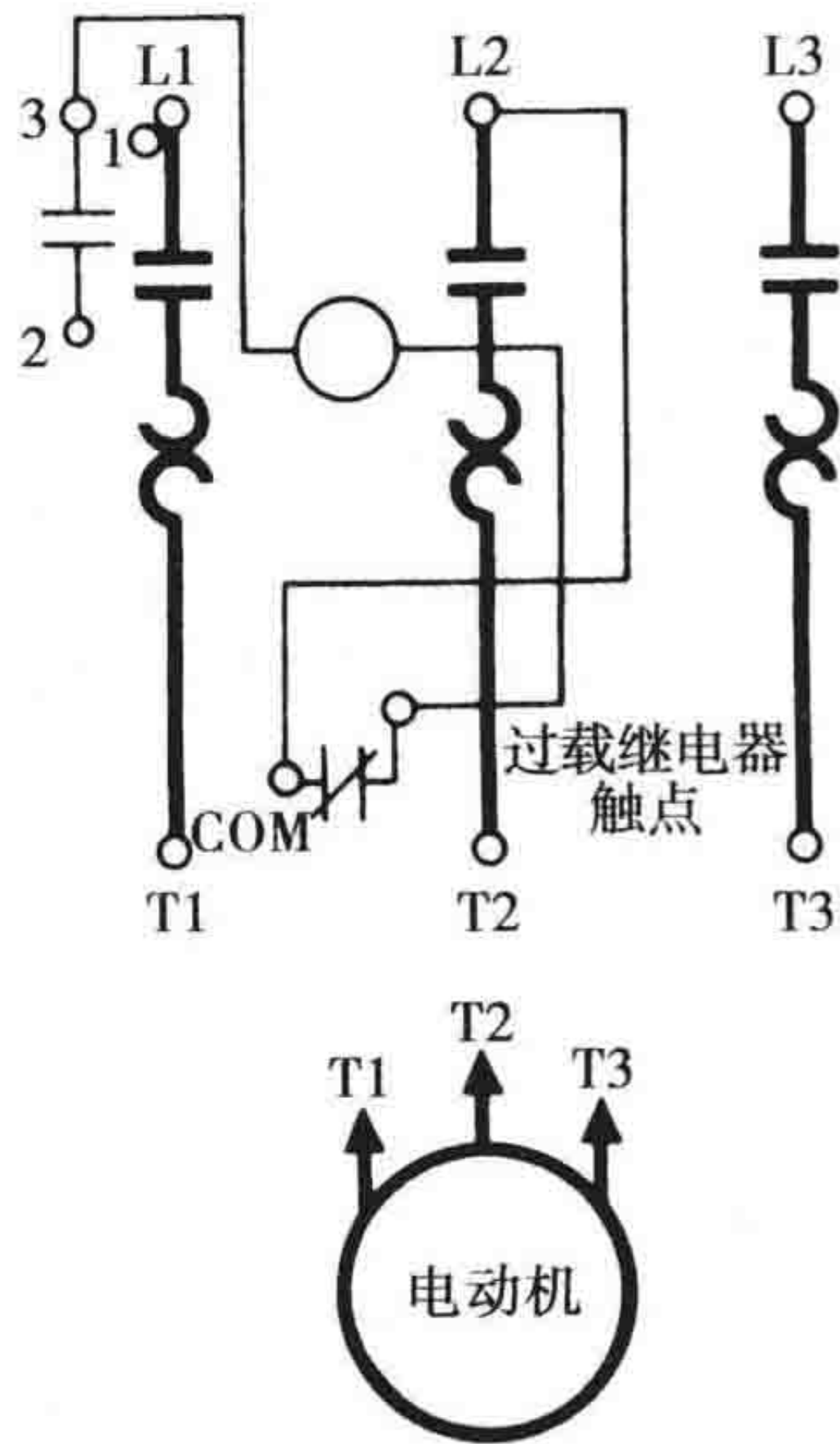


图 4-1 三相电动机起动器接线图

### 4.2 接线图

接线图为实际连接一组控制装置或需要排除故障时查线提供了必要的信息。

接线图或连接图中包括了系统中的所有设备，并表示出了它们彼此之间的实际关系。所有的接线柱、接线端子、线圈、触点和开关都显示在每个设备的适当位置上。这些图在系统接线的时候很有用，因为可以完全按照图中显示的那样进行接线。然而，接线图不能以一种容易理解电路动作顺序的方式来显示接线。因此，有必要重排电路元器件以形成线路图。

#### 起动电路

手动起动开关用于起动和保护额定功率为 1hp 以下的小型交流电动机和直流电动机，这里不需要欠电压保护。它们是通过安装在开关前面的曲柄连杆来操作的（如图 4-2 所示）。



因为操作装置不是电气控制的，所以接线图不会显示它们。这些电动机起动器包括一个通断拨动开关和通过共晶合金棘轮原理操作的热过载保护装置。图 4-3～图 4-6 所示的端子标记在每个开关上都能找到。

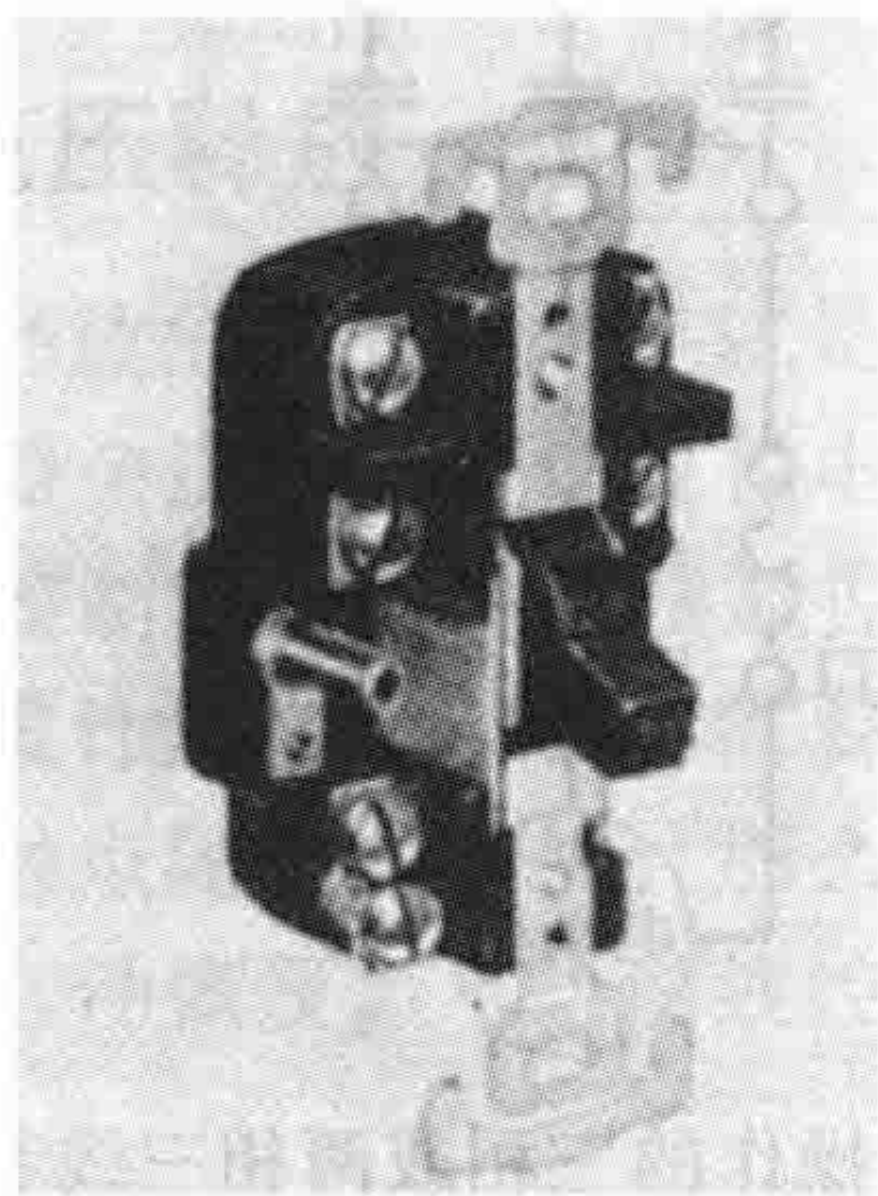


图 4-2 手动起动开关。带热过载保护装置的通断拨动开关 (Allen-Bradley 产品)

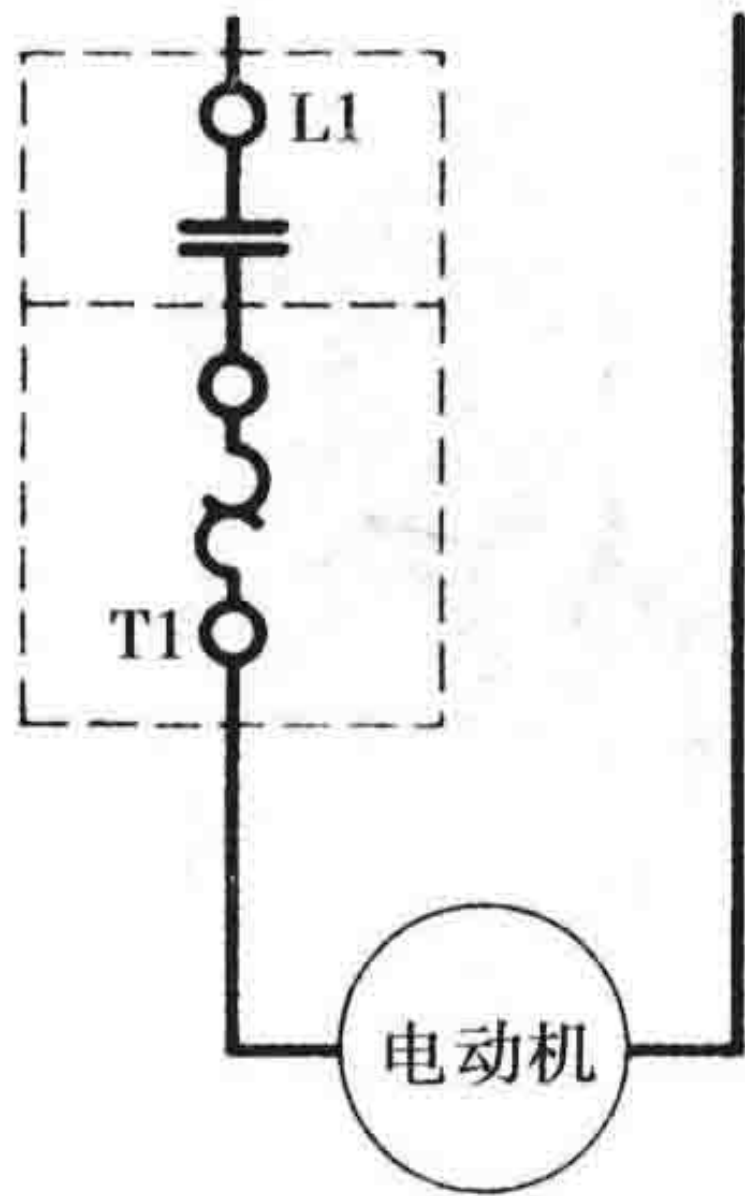


图 4-3 用于起停电动机的单刀开关 (Allen-Bradley 产品)

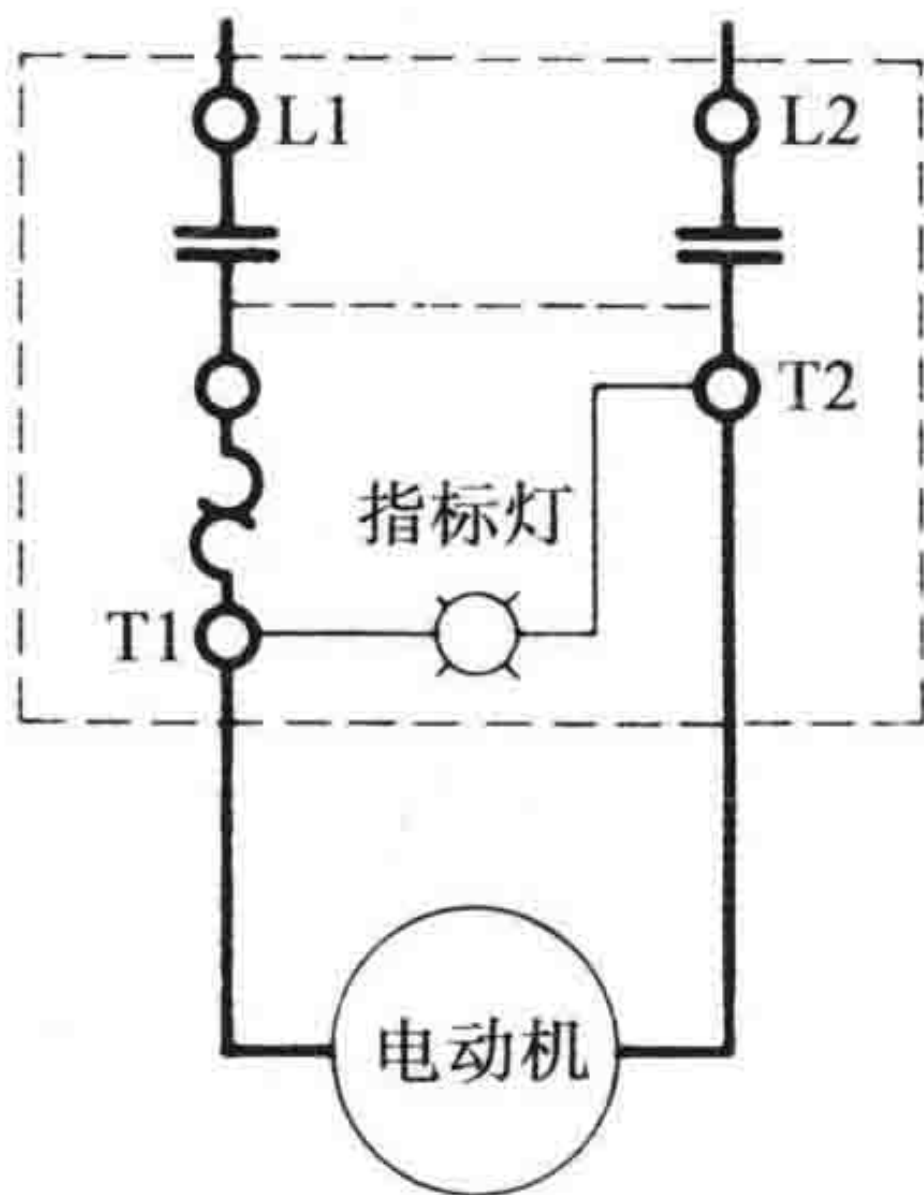


图 4-4 内置氮气指示灯的双刀开关 (Allen-Bradley 产品)

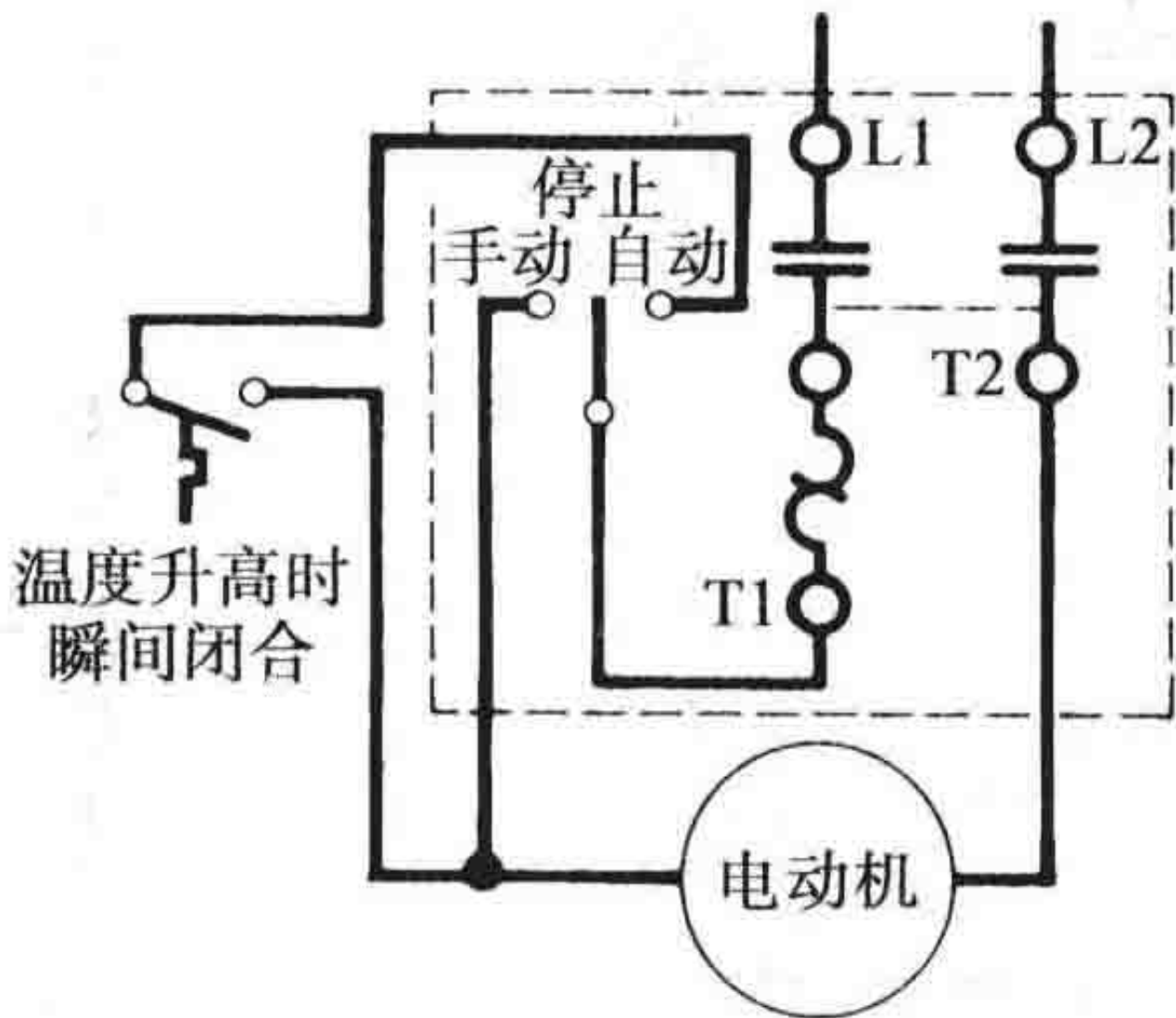


图 4-5 带有手动 - 停止 - 自动选择开关的电路 (Allen-Bradley 产品)

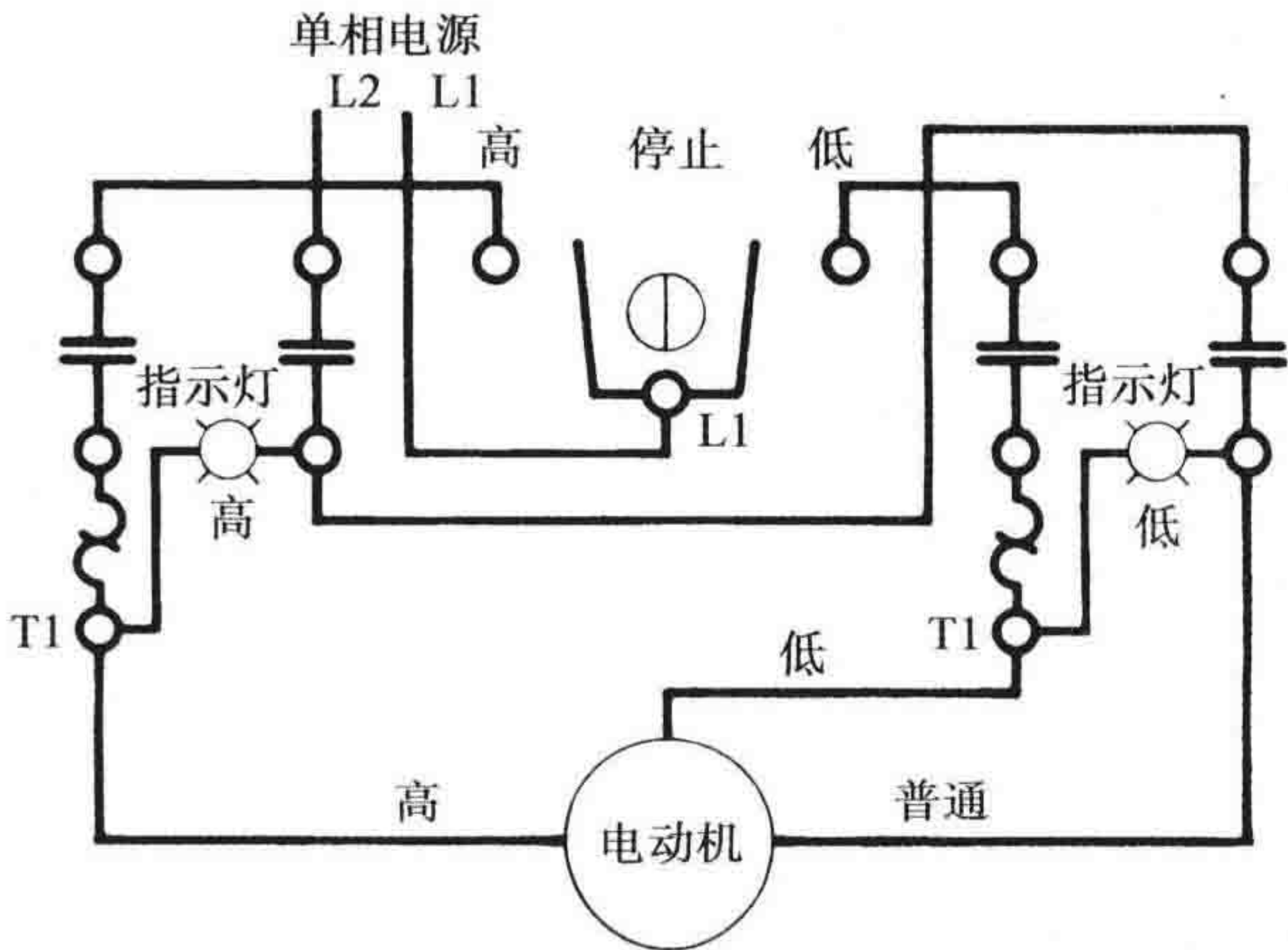


图 4-6 双速手动电动机起动器 (Allen-Bradley 产品)

其他简单的接线图是用来表示如何连接手动起动器的，它是通过安装在起动器前面的起动 - 停止按钮进行操作的。图 4-7 显示了正确安装按钮后的示意，为了方便查看接线端子，取下了盖子。这种类型的起动器用在不需要欠电压保护的地方。因为操作装置不是电气控制



的，所以接线图不会显示它。按下按钮闭合触点，电动机连接到线路上。按下停止按钮断开触点。图 4-8～图 4-11 所示的端子标记在每个开关上都能找到。

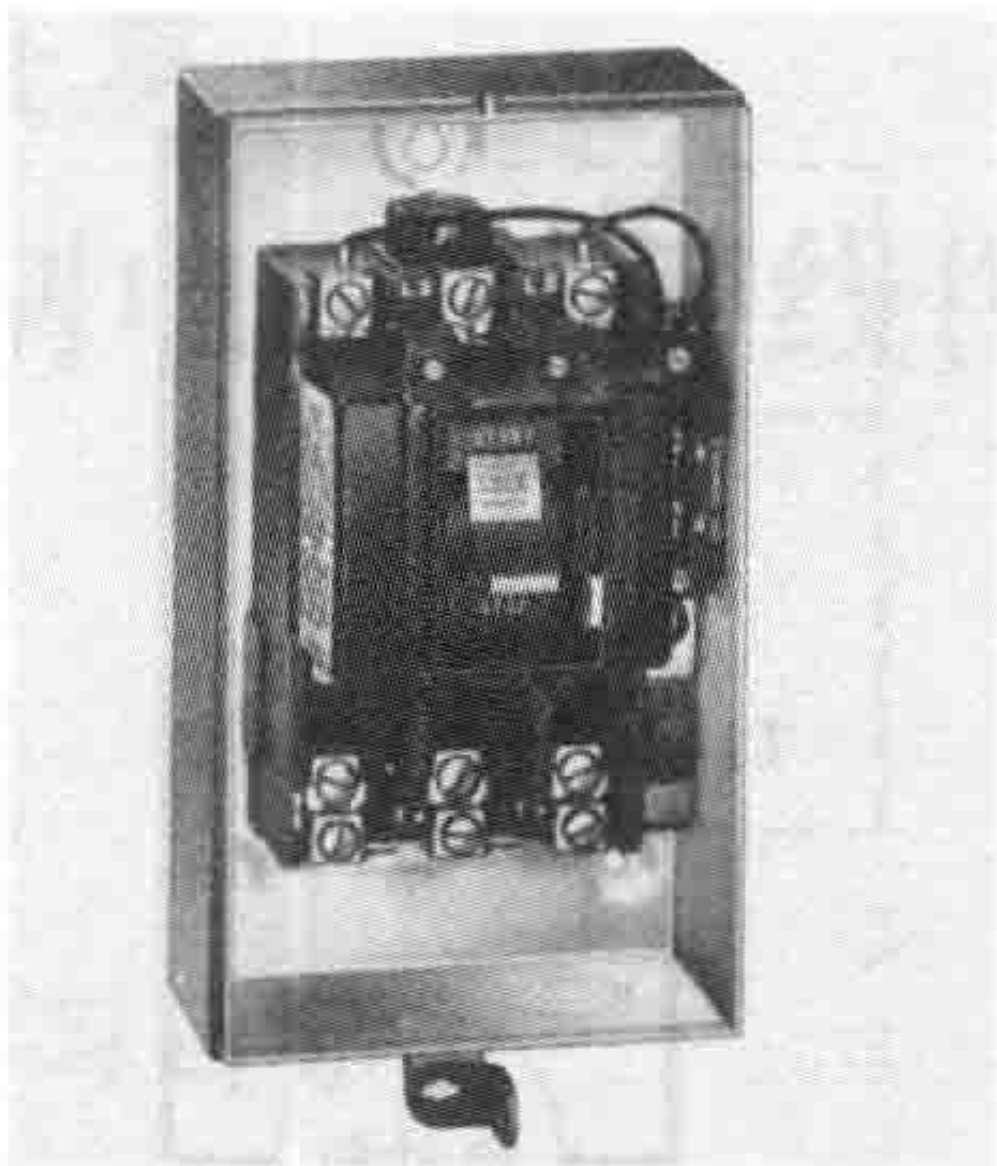


图 4-7 启动-停止手动启动器 (Allen-Bradley 产品)

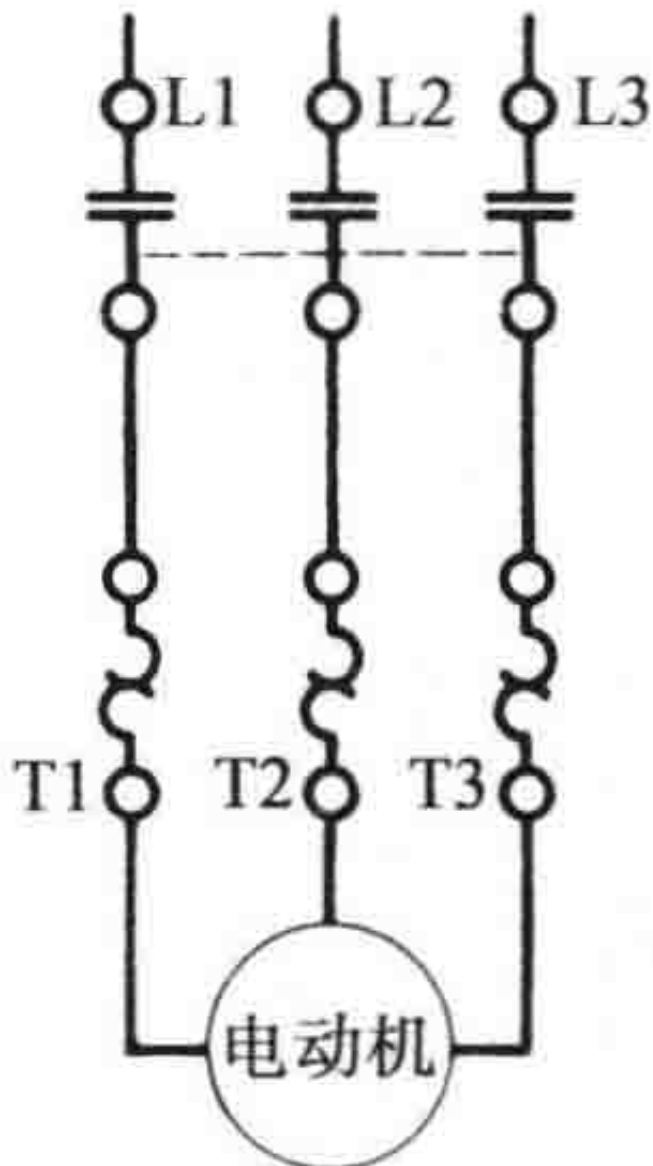


图 4-8 手动操作的三相或两相三线启动器 (Allen-Bradley 产品)

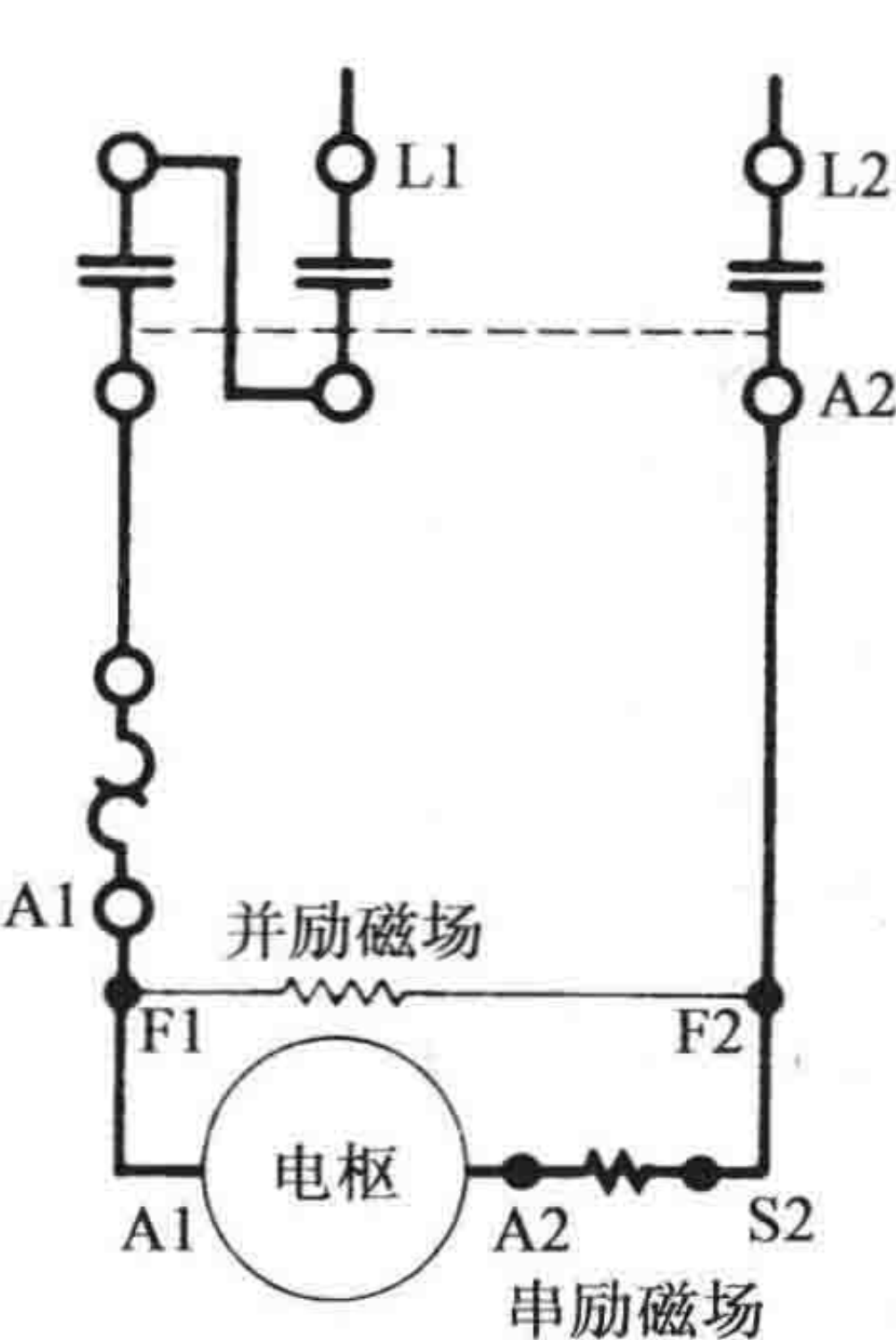


图 4-9 直流电动机启动器 (Allen-Bradley 产品)

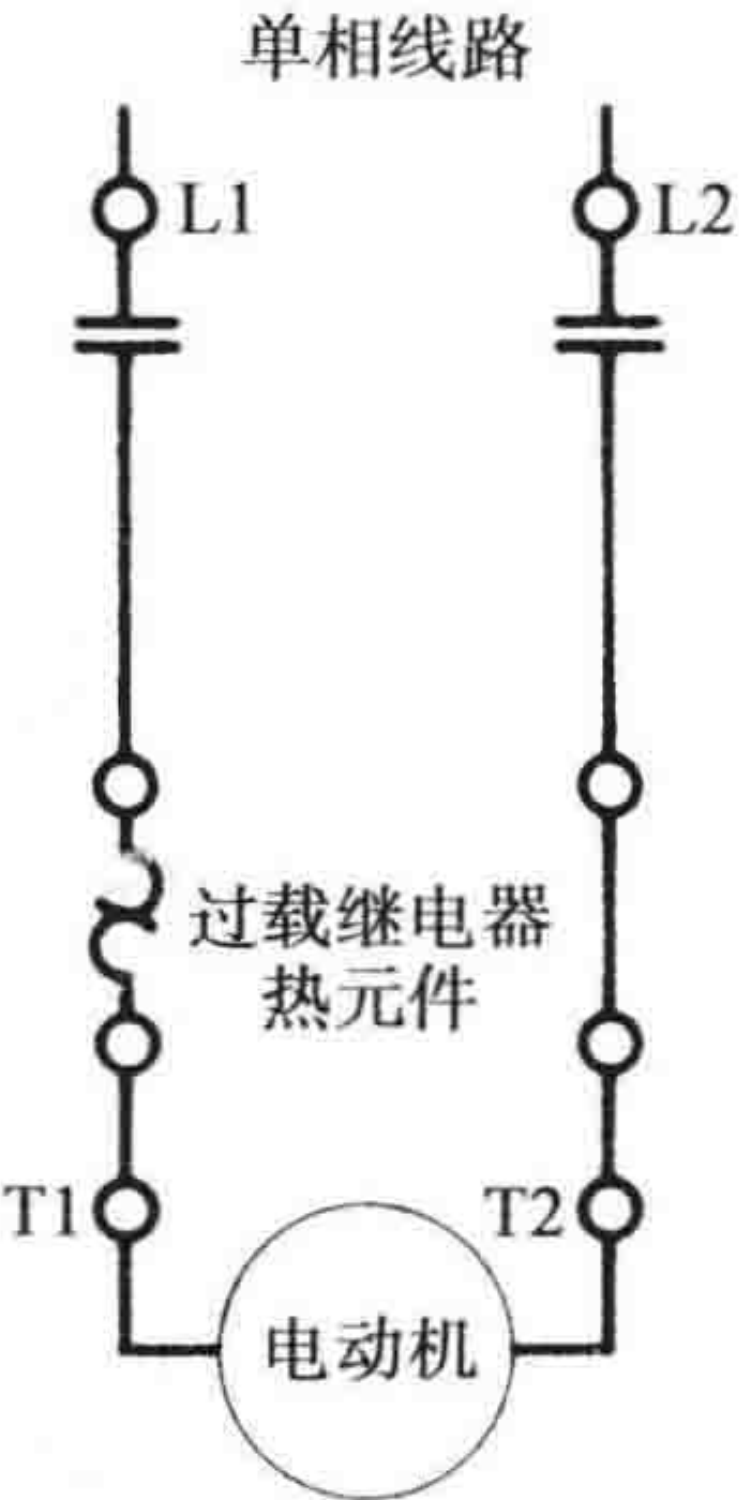


图 4-10 单相两个触点的启动器 (Allen-Bradley 产品)

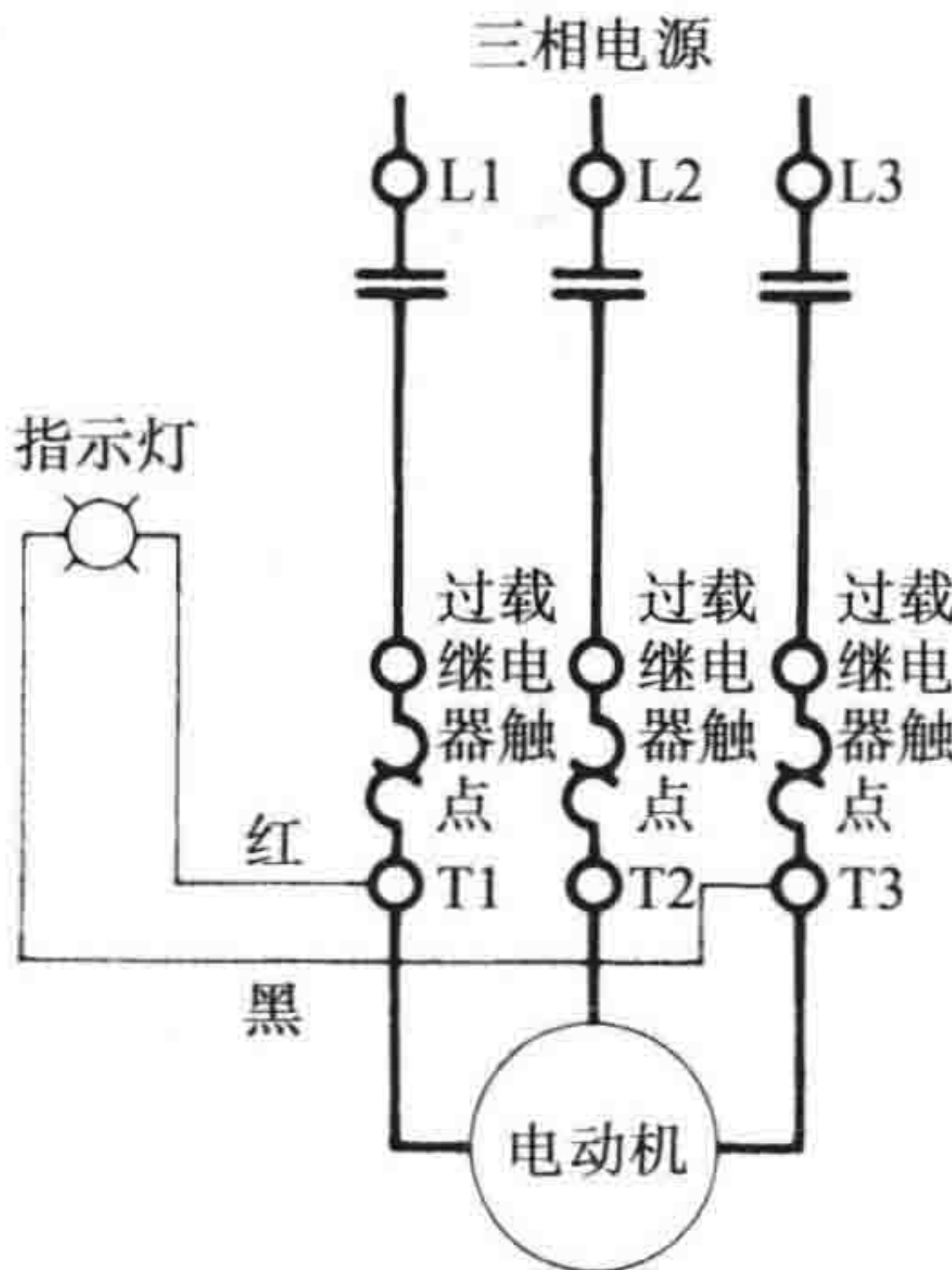


图 4-11 带指示灯的三相手动启动器 (Allen-Bradley 产品)

4.3 线路图或梯形图

线路图给出了电路中使人便于理解的各种装置操作顺序所必需的信息。它在排除故障的时候非常有用，因为它以一种简单的方式显示了不同触点的断开或闭合对电路其他设备的影响。

线路图有时也称为原理图，它不显示各种设备的实际位置。所有的控制设备都显示在代表控制电源的两条竖线之间。显示的电路尽量直接从一条竖线连接到另一条竖线。所有的连接都是这样的，所以能很容易地弄清楚各设备的功能（如图 4-12 所示）。

图 4-12 是一个简单的原理图，其中开关与电磁线圈（M）以及过载继电器触点（O. L.）相串联。注意电源线 L1 在左边，数

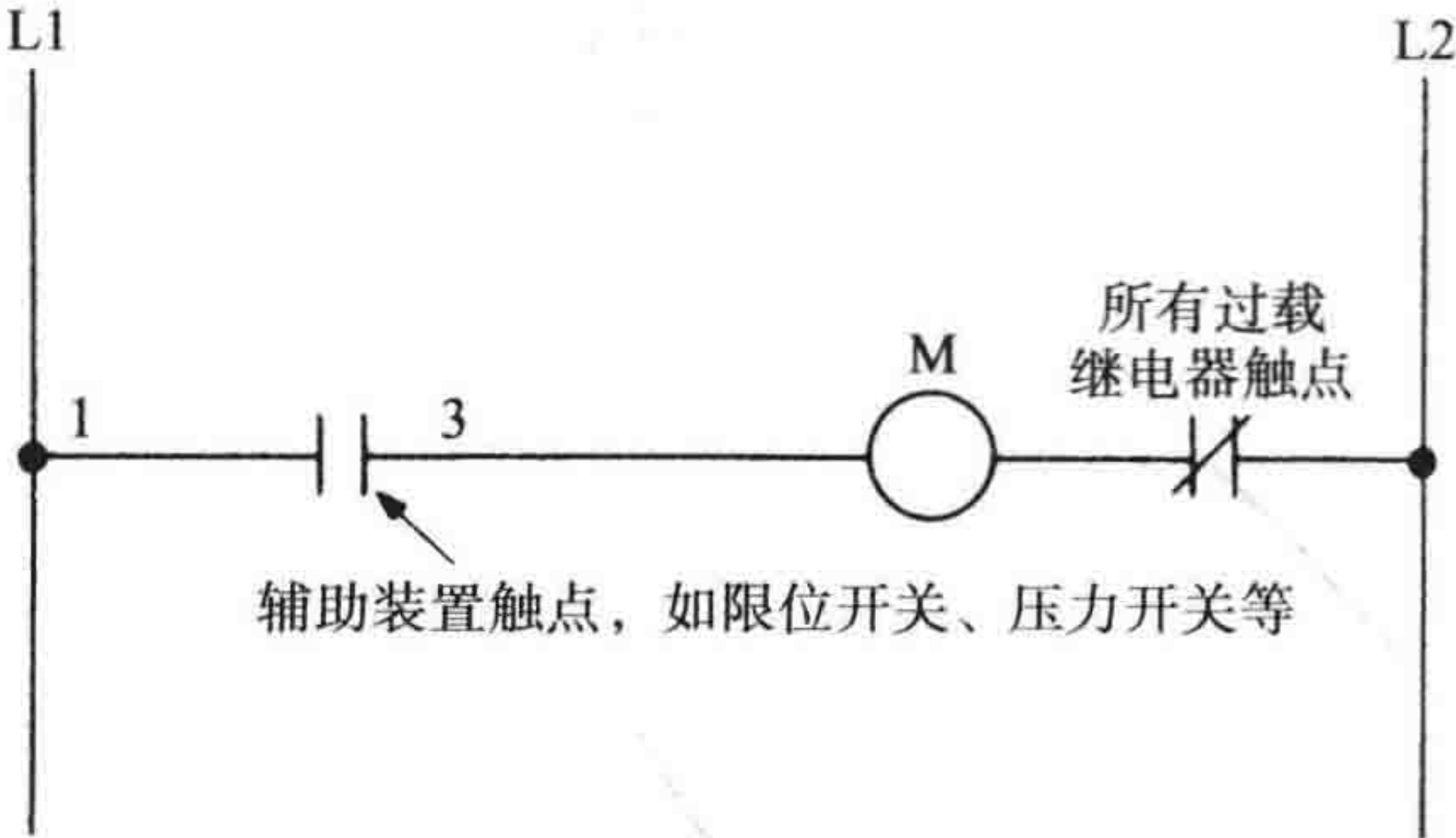


图 4-12 基本的双线控制



字 1 标在 L1 与水平线的交点处。从电源线引出的每一条水平线或引出点都要进行编号。在后面使用可编程序控制器控制开关的时候，这会很有用。这种类型的原理图也称为梯形图，因为它由竖直平行的电源线以及形成电路的水平梯线构成。

### 4.4 欠电压释放

欠电压释放的另一个名字就是低压释放两线控制。这个术语的意思是当有失电压故障的时候，起动器会退出，当恢复供电的时候它会立即恢复（如图 4-12 所示）。这个欠电压释放电路是两线控制，是由保持接触控制设备（限位开关、压力或浮力开关）与起动线圈串联构成的。这种设计用在起动器不需要操作人员操作而可以自行起动的情况。如果电源故障发生在控制设备触点闭合的时候，那么起动器就会退出。当恢复供电时，起动器会通过闭合的控制设备触点自动恢复。术语两线控制源于在基本电路中只需要两条线就能把控制设备连接到起动器上。

### 4.5 双线控制线路

能画出很多种电路，并在特定场合都能用得很好。图 4-13 所示为一个通过选择开关实现手动控制的起动器。

可以加一个高压切断开关。图 4-13 中接线图和线路图都显示出来了，以便更清楚地说明设备是怎样连接和放置的。在自动控制无法实现的情况下，可以通过选择开关手动操作起动器以进行测试。当使用没有按钮开关的标准全压起动器时，去掉“Y”形联结线，接线图由图中的实线组成。

注意在梯形图中只使用了 L1 和 L2。控制电路只用了这两条线来供电，然而，电磁起动器 M 有 3 组触点，能够断开三相电源到三相电动机间的连接。

如果想增加一个高压切断开关，则应该将它插在 L1 到选择开关上标有“手动”端子的连线上。低压开关或者温控器可以放在 A 处（如图 4-13 所示）。B 代表高压开关或者熔断器。注意手动 - 停止 - 自动转换开关在接线图和梯形图中是如何操作的。

### 4.6 温控器控制

因为仪表型温控器的触点不能处理起动器线圈（M）中的电流，所以必须用一个恒温继电器作为温控器和起动器的中间过渡（如图 4-14 所示）。当触点闭合时，继电器得电；当触点断开时，继电器断电。断开的触点绕过继电器线圈使其断电。这种情况下，继电器的内置电阻可以提供短路保护。

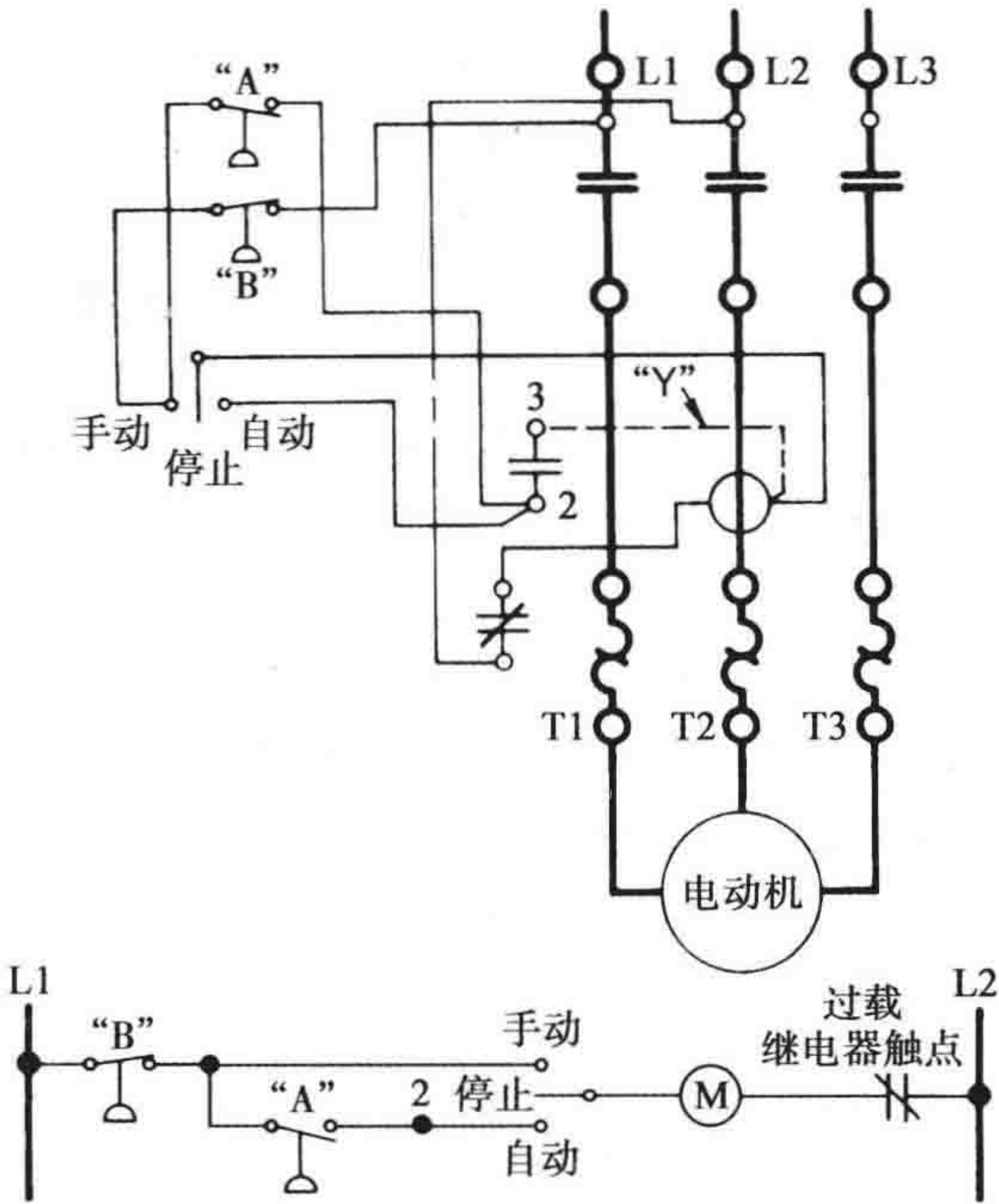


图 4-13 通过选择开关实现手动控制的起动器 (Allen-Bradley 产品)







的。注意图 4-16 中起动按钮上的触点 2 和 3，当起动器（接触器）退出的时候，这些触点将断开，切断控制电路直到起动按钮再次被按下。

三根线从控制装置连接到起动器。当涉及欠电压保护或者三线控制时，通常采用起动 - 停止按钮，它提供了这种类型控制最常见的方式。

双线控制和三线控制的区别在于，对于欠电压释放（两线）和欠电压保护（三线），一个是当再次通电时会使电动机重新起动，而另一个是直到“起动”按钮被按下才会起动。只有在描述这两种类型最简单的应用情况的时候，才指明双线控制和三线控制。事实上，在其他系统中，可能有更多的线路从控制设备连接到起动器上，但使用的还是两线控制和三线控制的原理。

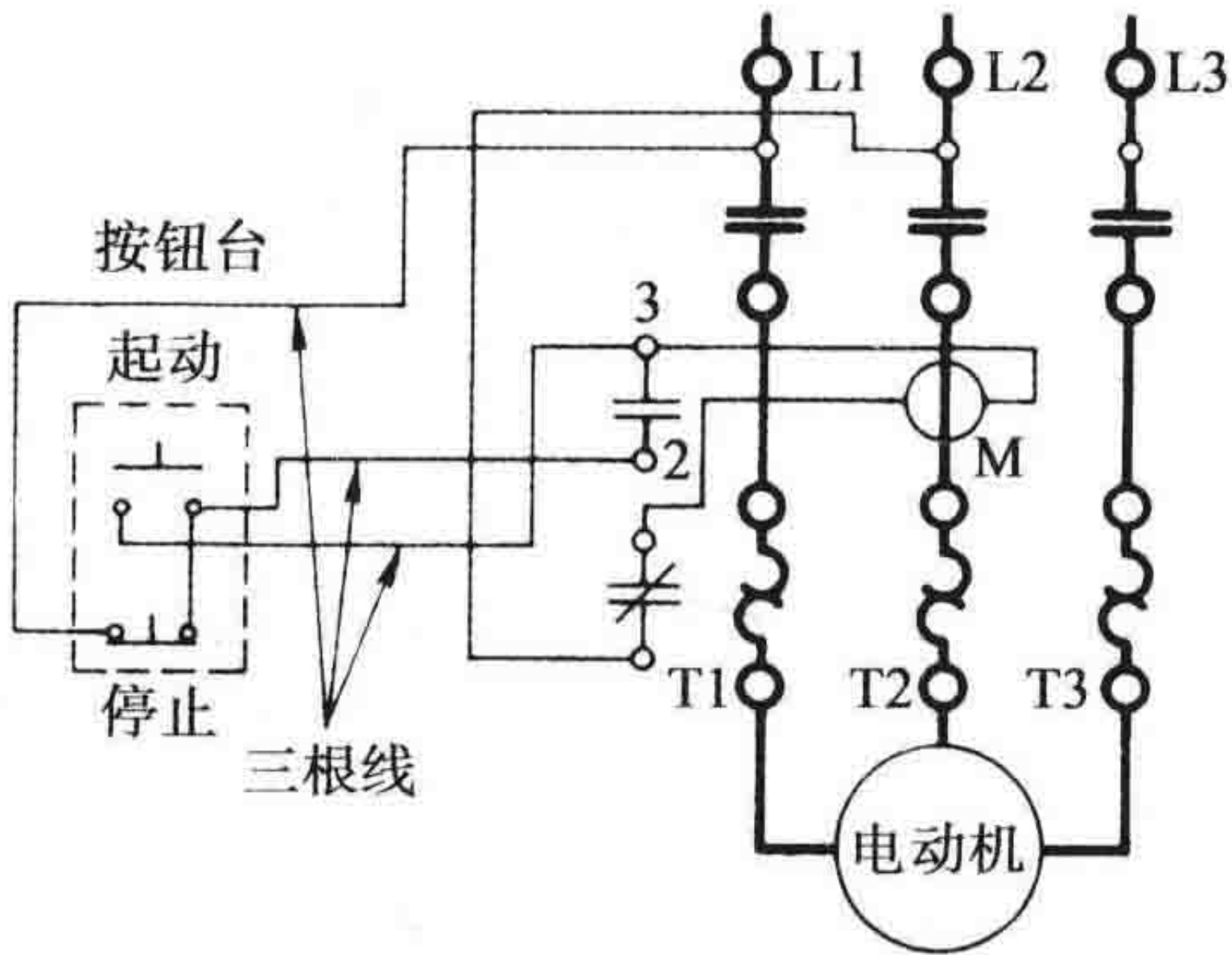


图 4-16 低压保护：三线控制（Allen-Bradley 产品）

4.8 三线控制电路

提高读懂接线图和梯形图能力的一个方法就是实践。图 4-17~图 4-26 所示的是可以用于很多地方的三线控制电路。我们通过分析每一个图来说明它是如何工作的，知道如何操作它们以利于排除故障，排除故障无非是弄清楚为什么设备不按正常的方式工作了。

三线控制电路中最简单的一种类型如图 4-17 所示。这个三线控制电路通过一个指示灯指示电动机正在运行。指示灯与起动线圈并联，以指示起动器通电、电动机正在运行或者接线端子带电。

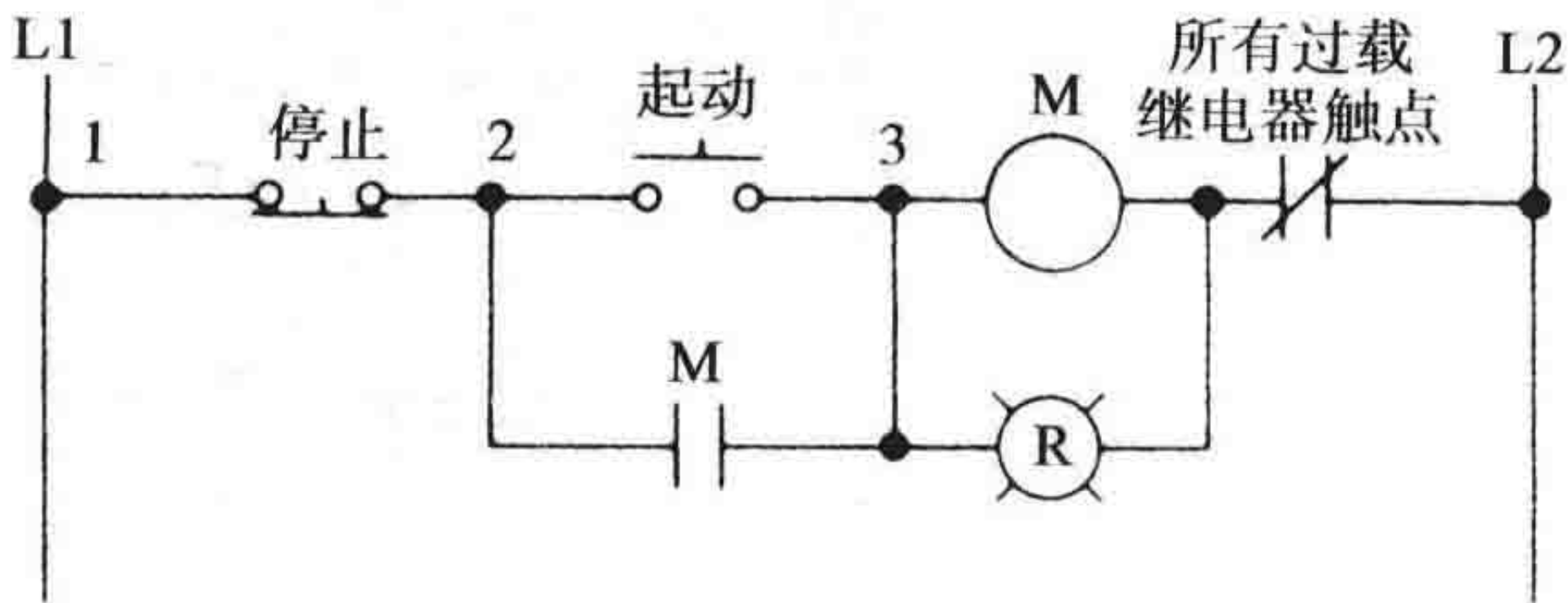


图 4-17 三线控制：指示灯表示电动机处于运行状态

图 4-18 所示的内容会使你对三线控制线路有更进一步的了解。它有一个表示电动机停止运行的指示灯，在某些情况下可能需要这样的指示灯。可以通过将起动器 M 上面的一个常闭辅助触点与指示灯相串联来实现这个功能。当起动器断电时，指示灯亮；当起动器得电时，辅助触点断开，指示灯熄灭。

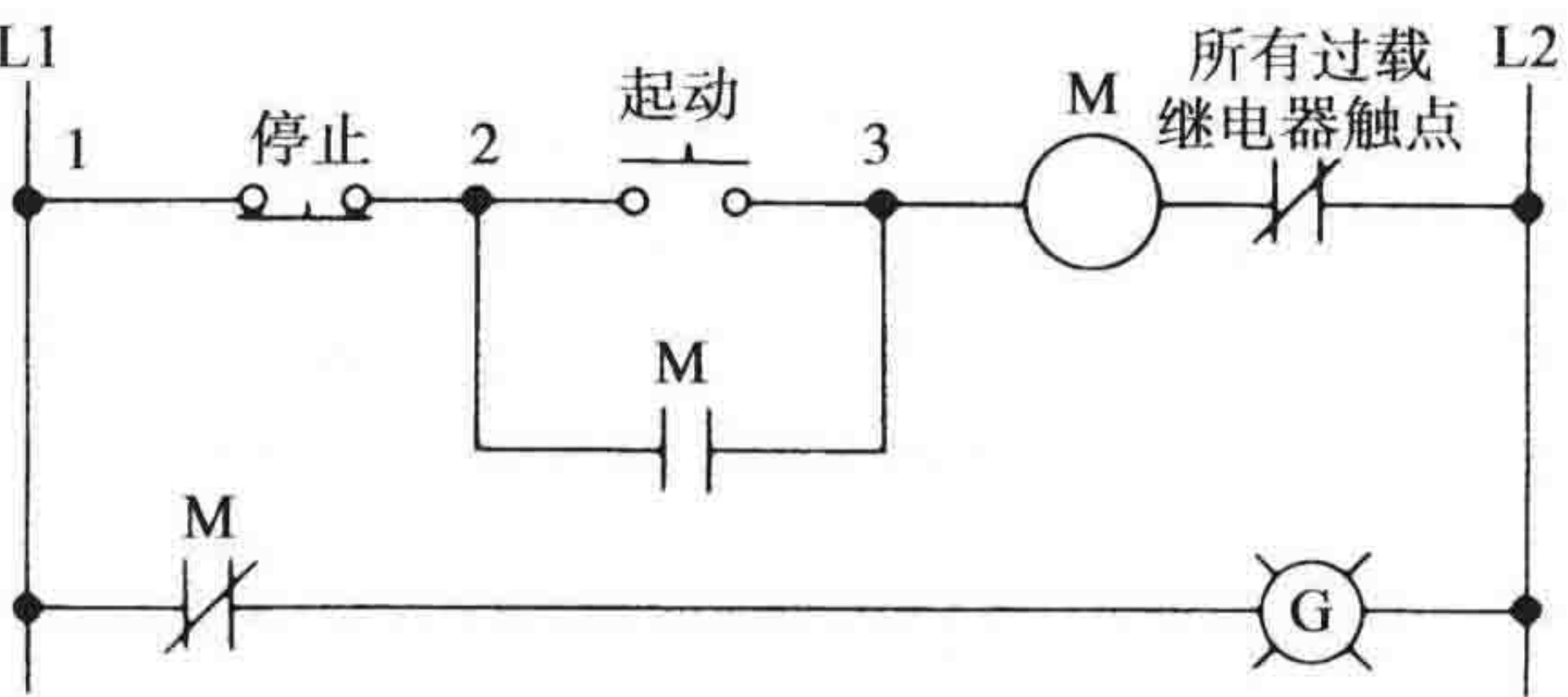


图 4-18 三线控制：指示灯表示电动机停止

图 4-19 所示的内容为使用一个按下测试指示灯指示电动机正在运行。当电动机运行而指示灯不亮时，可能是电路开路或者是指示灯烧坏了。测试指示灯允许通过简单的按下按钮测试电灯泡，这只能说明电灯泡是否工作而不能说明其他问题，比如线圈出现问题或者是连到电动机的接线出现了问题。

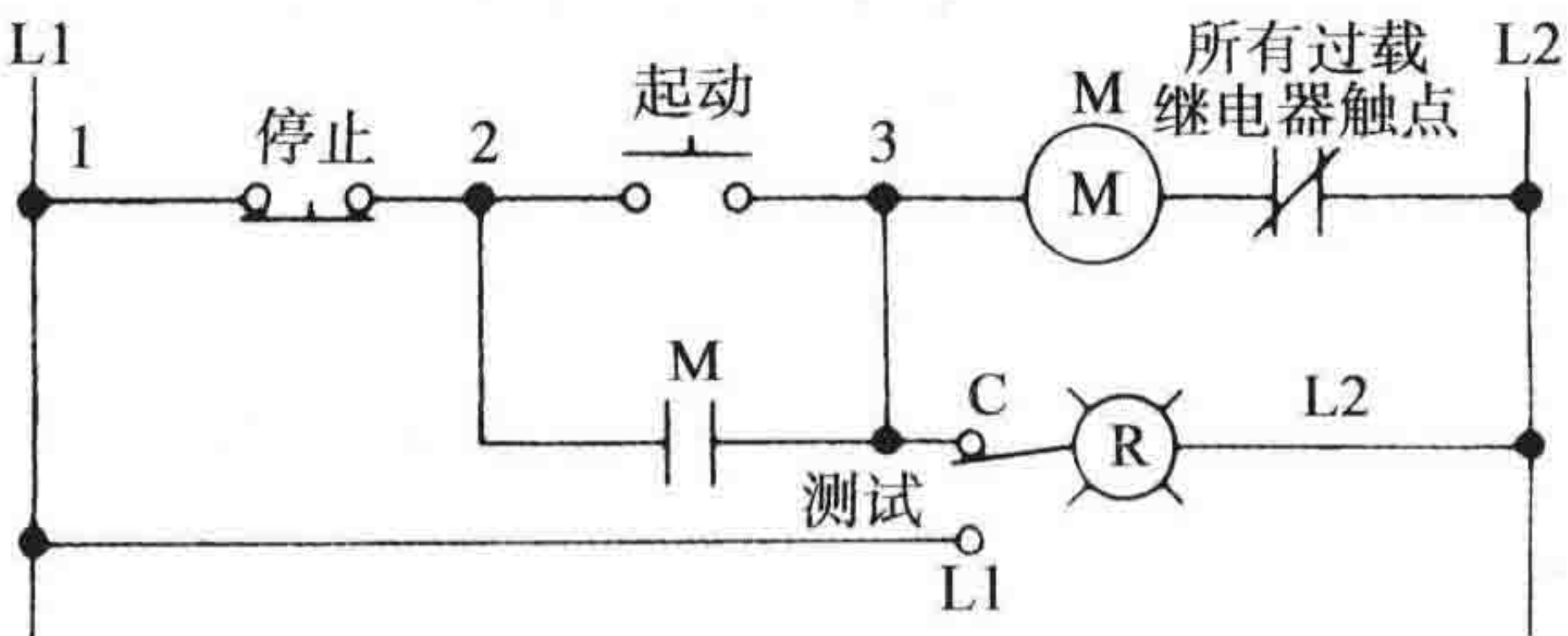


图 4-19 三线控制：测试指示灯表示电动机运行

带灯按钮集成了起动按钮和指示灯的功能（参见图 4-20）。按下指示灯，起动触点闭合。因为按钮台只需放置两个部件而不是三个，所以节省了空间。



当一个起动 - 停止按钮台需要控制多个起动器（接触器）时，可以使用如图 4-21 所示的设计。任何一个电动机的持续过载会使 3 个起动器都退出。注意观察 M1 触点是怎样控制 M2 以及 M2 触点是怎样控制 M3 的。一旦停止按钮被按下，M1 线圈所在的线路将会断开，M1 的退出会使其他两个线圈也退出。起动开关是和 M3 的触点并联的。

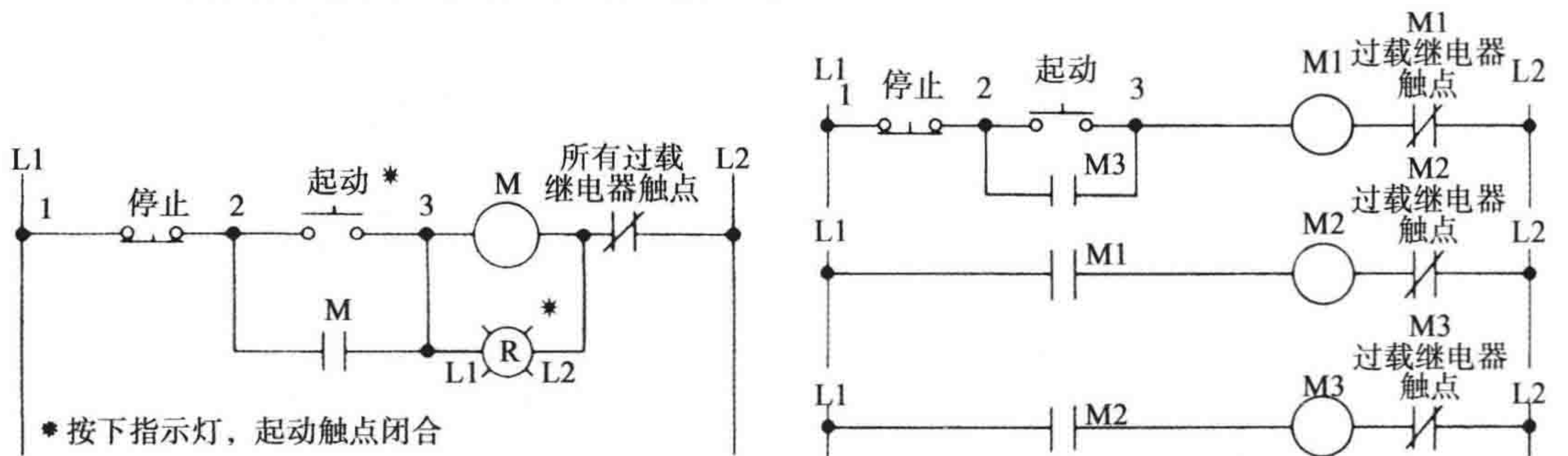


图 4-20 三线控制：带灯按钮表示电动机运行      图 4-21 三线控制：一个按钮控制所有的起动器 (Allen-Bradley 产品)

至此，我们已经讨论了使电动机运行或当不安全状况发生时使电动机停止的电路。现在我们来谈谈怎样使电动机反转。反转的三线控制可以通过一个正转 - 反转 - 停止按钮来实现，如图 4-22 所示。可以用限位开关使电动机停在任何方向的某个位置上，这样跳线 6~3 以及 7~5 必须被移除。图中标有 F 和 R 的圆圈表示的是接触器线圈，它们的触点实际上是电动机连接到电源的开关，以使其反向。

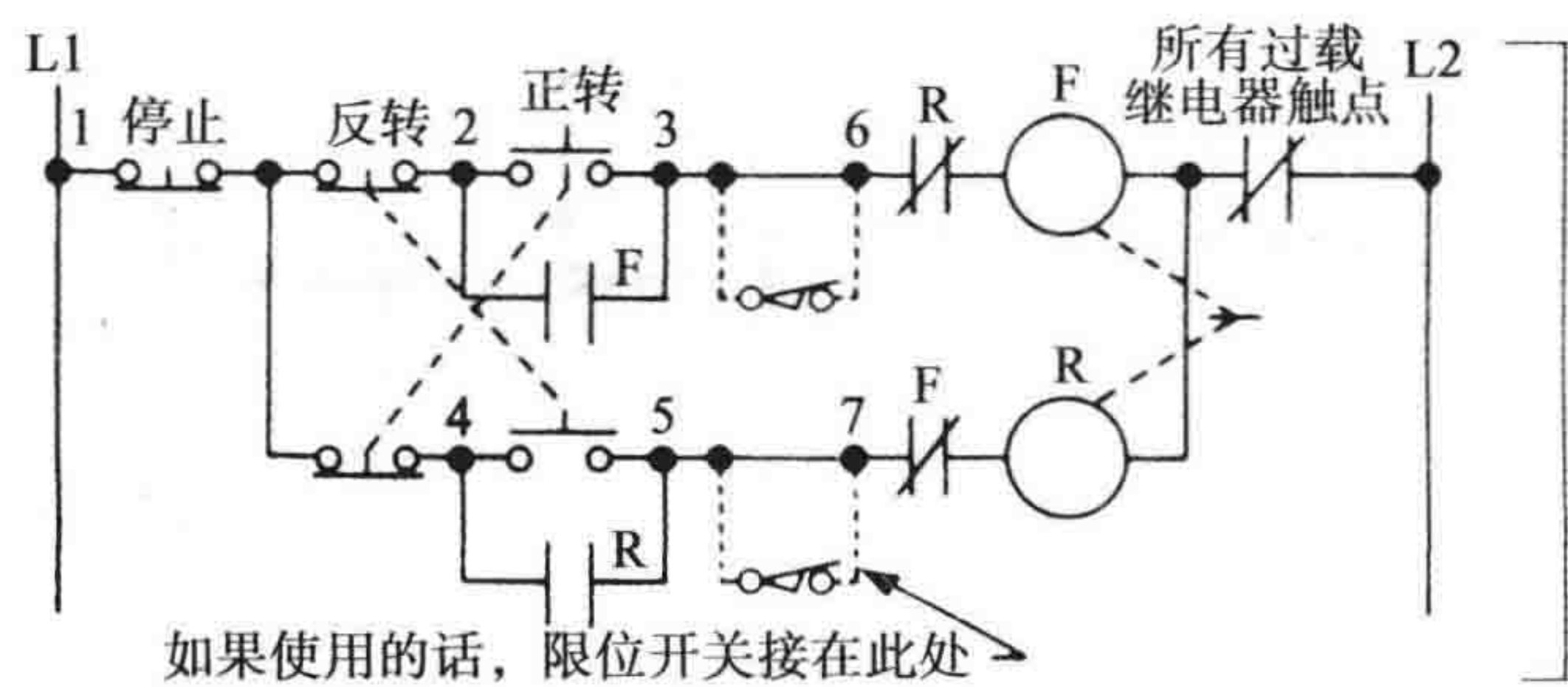


图 4-22 三线控制：正反向起动 (Allen-Bradley 产品)

在某些情况下，需要使用多个按钮台，类似于图 4-23 所示的设计。注意观察两个开关（正转和反转）是怎样并联设计的，以至于在任一方向按下正转开关都会使 F 线圈得电；在任何方向按下反转开关都会使 R 线圈得电。同时注意观察 F 触点是怎样与 R 线圈串联以及 R 触点是怎样与 F 线圈串联的。这样当 F 线圈得电的时候 R 线圈会断电。

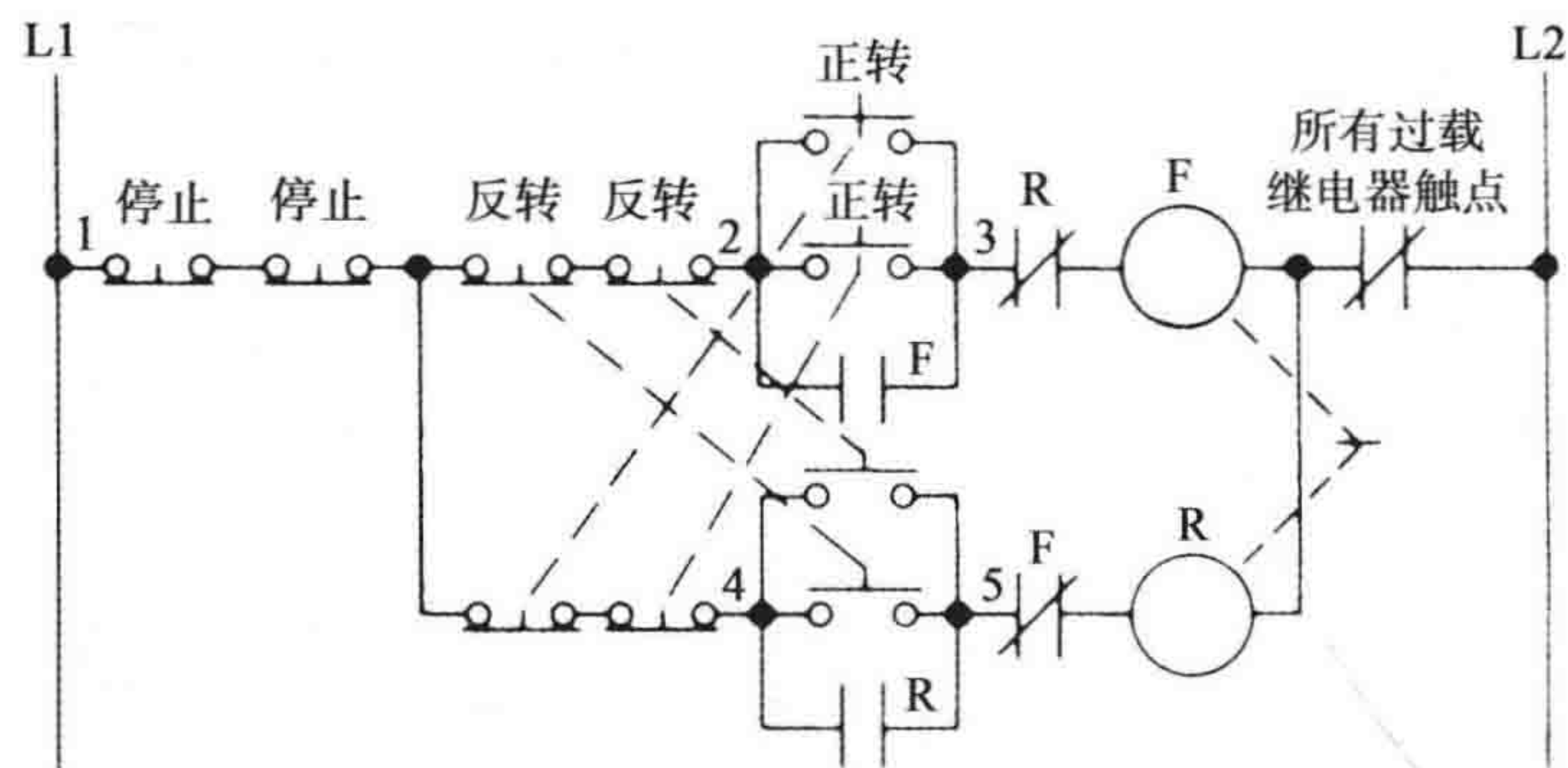


图 4-23 三线控制：多按钮台的正反转起动 (Allen-Bradley 产品)



有时候需要知道电动机的转动方向。可以接一个指示灯来指示电动机的转动方向。指示灯可以与正转和反转接触器线圈并联，这样可以借助哪个触点得电了来表示电动机的转动方向（见图 4-24）。至此我们已经研究了起动 - 停止以及正反转控制。现在可以介绍双速起动器了。高速 - 低速 - 停止按钮台上的双速起动器的三线控制如图 4-25 所示。该图允许操作人员以任意速度起动电动机或者是从低速变为高速。必须先操作停止按钮才能使电动机从高速变为低速。这种设计是为了防止线路上产生过大的电流及其对电动机和驱动设备的冲击。当电动机处于高速运转时将其改接为低速后会对电动机产生冲击。

控制双速电动机的时候，在大多数情况下最好能够指示电动机的运行速度。图 4-26 所示为三线双速起动器的控制电路，它通过一个指示灯来表示电动机运行在低速还是高速，完成这个功能需要在彼此触点上加一个额外的常开辅助触点进行互锁。如果使用两个指示灯分别指示两种速度，则可以将指示灯分别与高速和低速线圈并联，与图 4-24 类似。

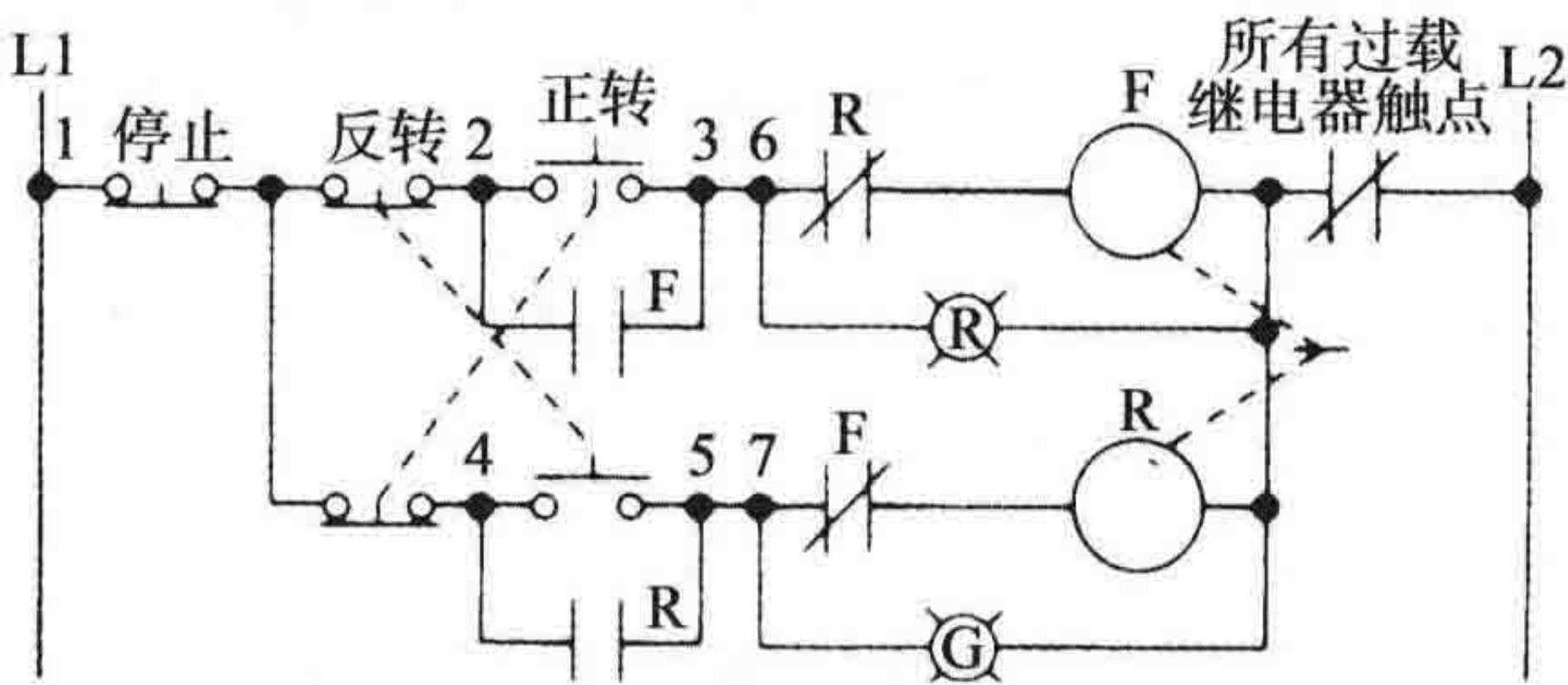


图 4-24 三线控制：指示灯指示电动机运行方向 (Allen-Bradley 产品)

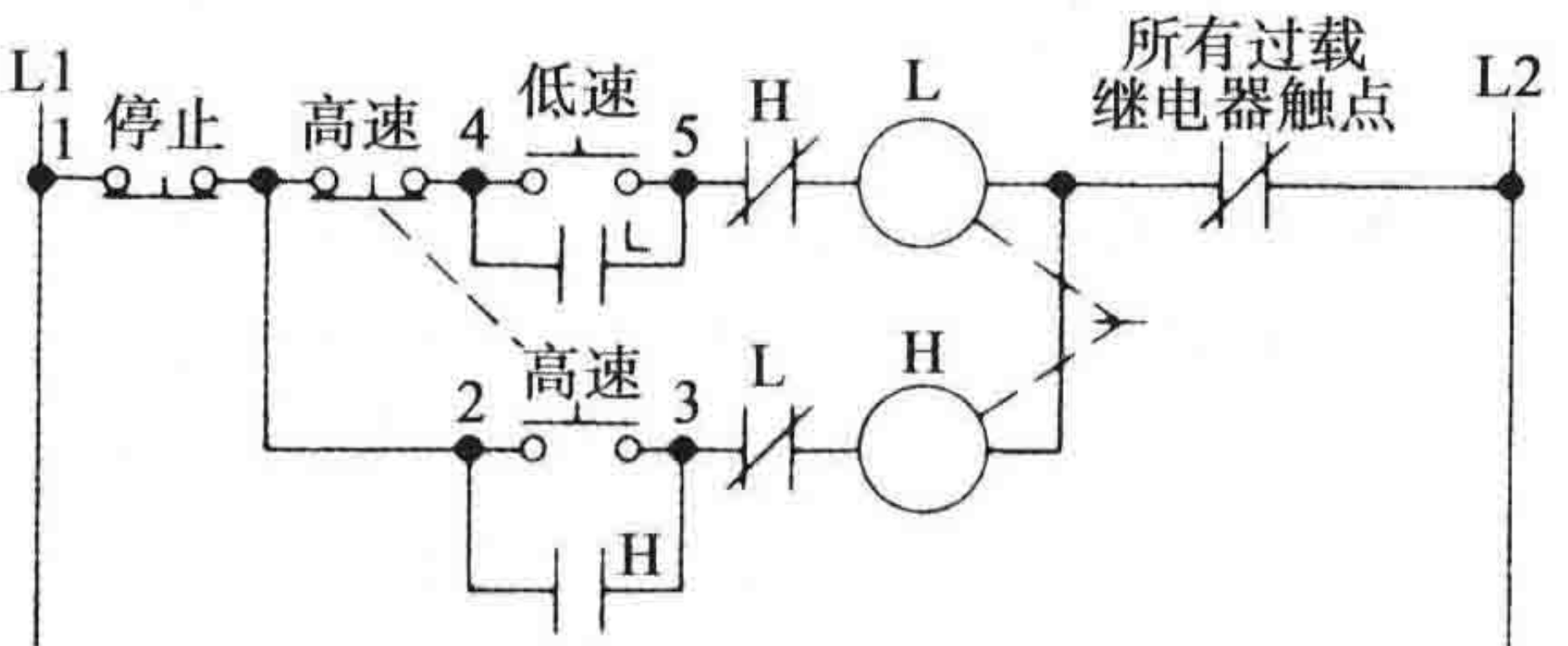


图 4-25 三线控制：双速起动器 (Allen-Bradley 产品)

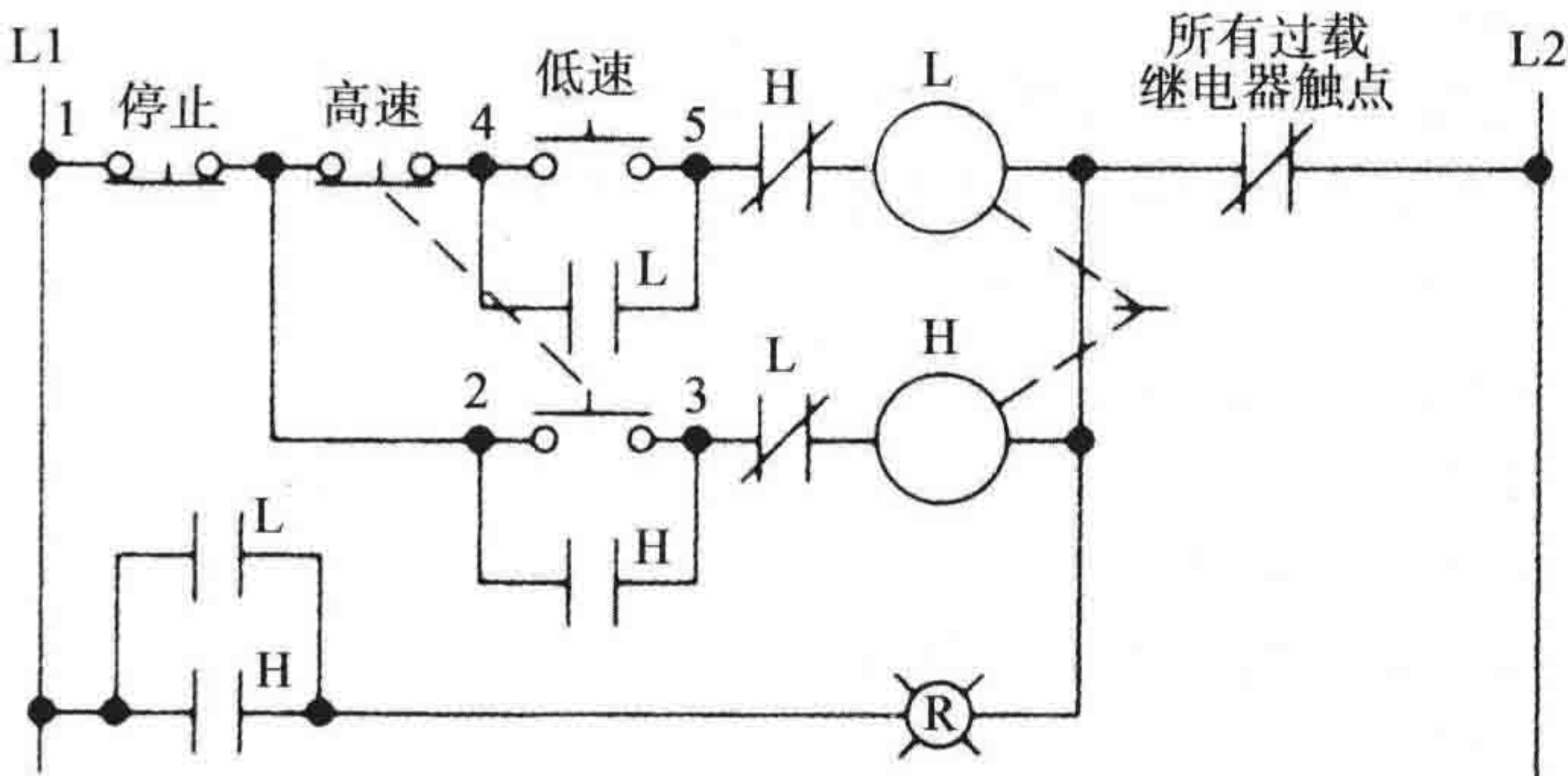


图 4-26 三线控制：指示灯表示电动机在低速或高速运行 (Allen-Bradley 产品)

4.9 控制线路的过电流保护

一台高质量的电动机，如果冷却机制合理并且避免过载，可以有很长的使用寿命。适当的电动机保护是为了延长电动机寿命，并推迟最终会发生的故障。恰当的电气保护包括合理的过载保护以及限制短路电流的短路保护。交流电动机和其他类型的高冲击负载需要保护装置有特殊的性能。电动机正常满载运行时的电流比电动机起动或者承受瞬时机械过载时的电流小得多。这种特性如图 4-27 所示。

交流电动机通电后，起动电流迅速上升至正常工作电流的数倍，转子开始旋转。随着转子旋转速度的增加，当达到正常运行速度时，电流会下降到正常运行电流。因此，在这期间，电动机电路中的过电流保护装置必须能够承受相当大的瞬时过载。

电动机起动电流的变化幅度很大，主要取决于电动机类型、负载类型、起动方式以及其



他因素。在开始的半个周期里，瞬时暂态电流有效值可以是正常电流的 11 倍或者更大。第一个 1/2 周期以后，几秒内起动电流衰减到正常电流的 4~8 倍（通常情况下是 6 倍），该电流称为转子堵转电流。当电动机达到运行速度时，电流衰减到正常运行水平。

电动机保护的特殊要求是：要求电动机的过载保护装置能够承受由电动机起动电流造成的瞬时过载，同时还能保护电动机不受连续性过载或破坏性过载的损坏。3 类装置可以提供过载保护：

- 电动机控制器里面的过载继电器。这些过载继电器通常使用易熔合金或双金属型来模拟电动机损坏曲线特性。整定适当，高质量的过载继电器如果维护得好的话可以为电动机提供很好的保护。
- 双元件、延时熔断器和低峰双元件熔断器。这些熔断器中的延时元件在 5 倍额定负载的时候最少延时 10s 才熔断，如果整定得合适，它们可以提供很好的运行保护。另外，短路元件还可以提供短路保护。
- 热保护器。它对热敏感，内嵌在小功率电动机里以及封闭式压缩机里，可以手动或自动复位。

通常不推荐断路器作为过载保护元件。如果允许整定电流为典型电动机的 2~2.5 倍满载电流 (FLA) 时，那么它们通常没有足够的延时时间，在电动机起动的时候容易跳闸退出。断路器的瞬时跳闸电流必须设置得足够高，才能克服电动机的瞬时暂态电流。也不推荐除双元件熔断器之外的熔断器，因为要将它们的动作电流设得很高（通常为 3~4 倍的 FLA），才能允许电动机起动。

图 4-28 所示为只有一条线有熔断器，并且两条线都不接地的通用控制电路。如果用户情况允许的话，可以一条线接地。注意观察熔断器的符号，它和 L1 是串联的。L2 接地，并且没有接熔断器。图 4-29 所示为两条线都接有熔断器，并且都不接地的通用控制电路。

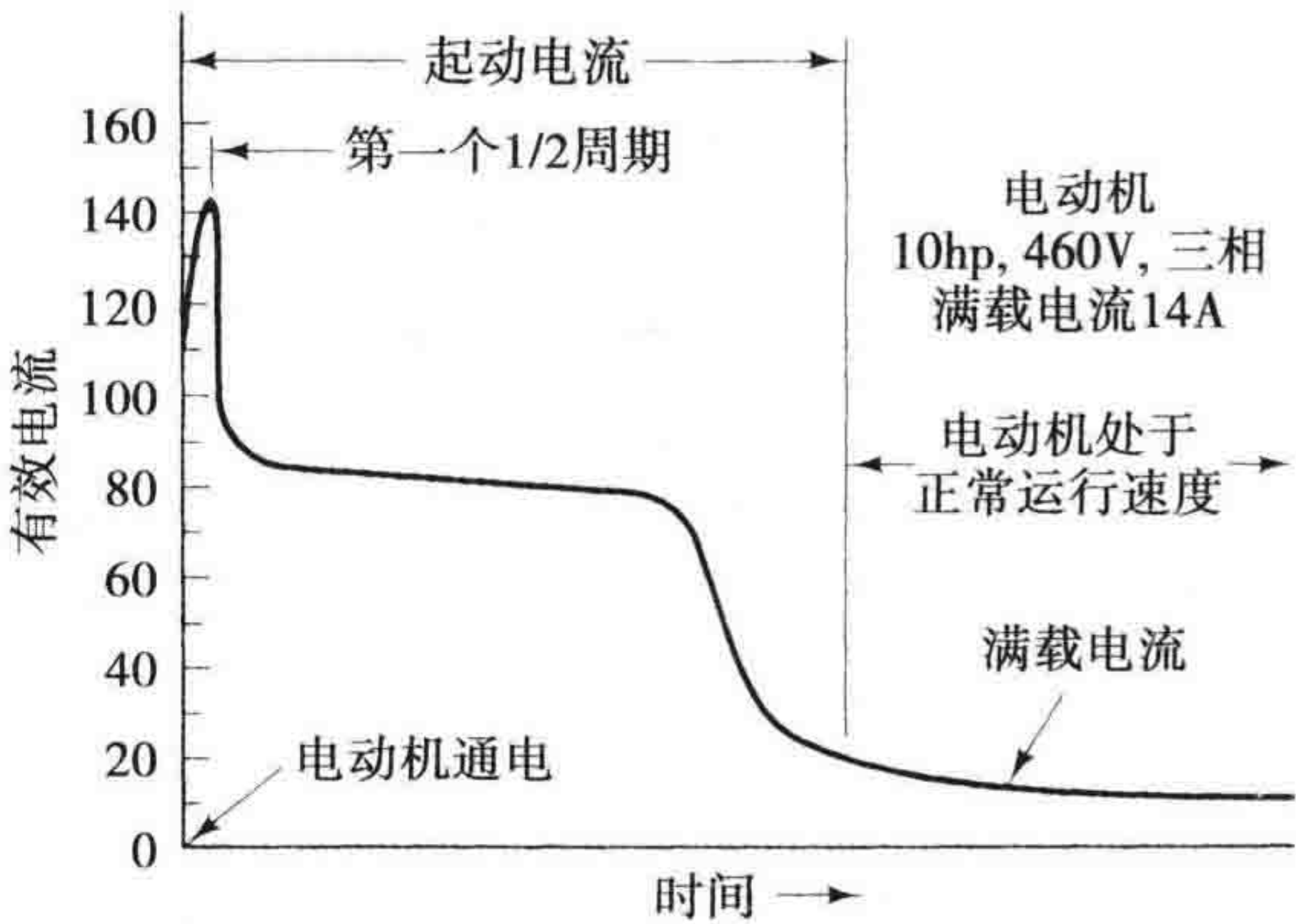


图 4-27 典型的电动机起动特性 (Bussmann Division, Cooper Industries, Inc. 产品)

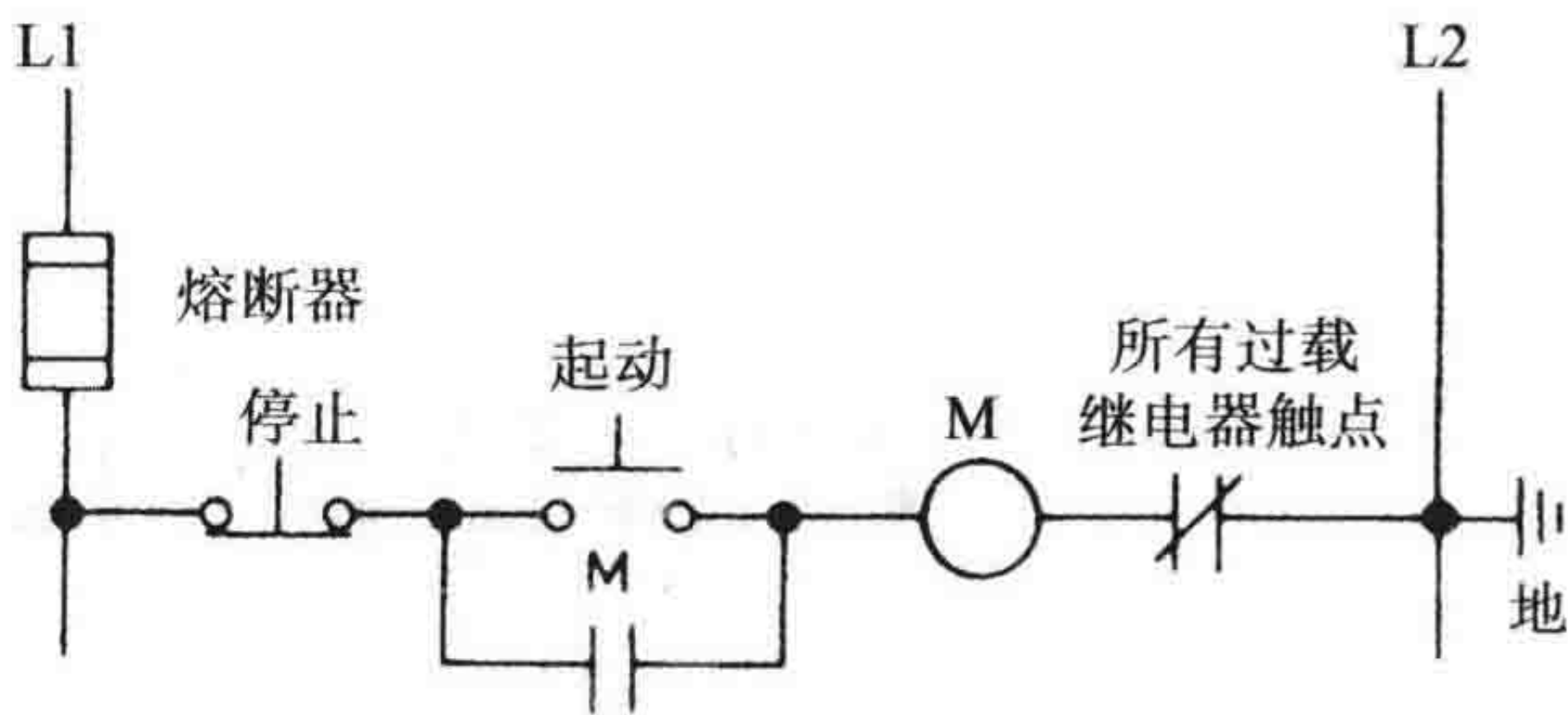


图 4-28 含一个熔断器的过电流保护控制电路 (Allen-Bradley 产品)

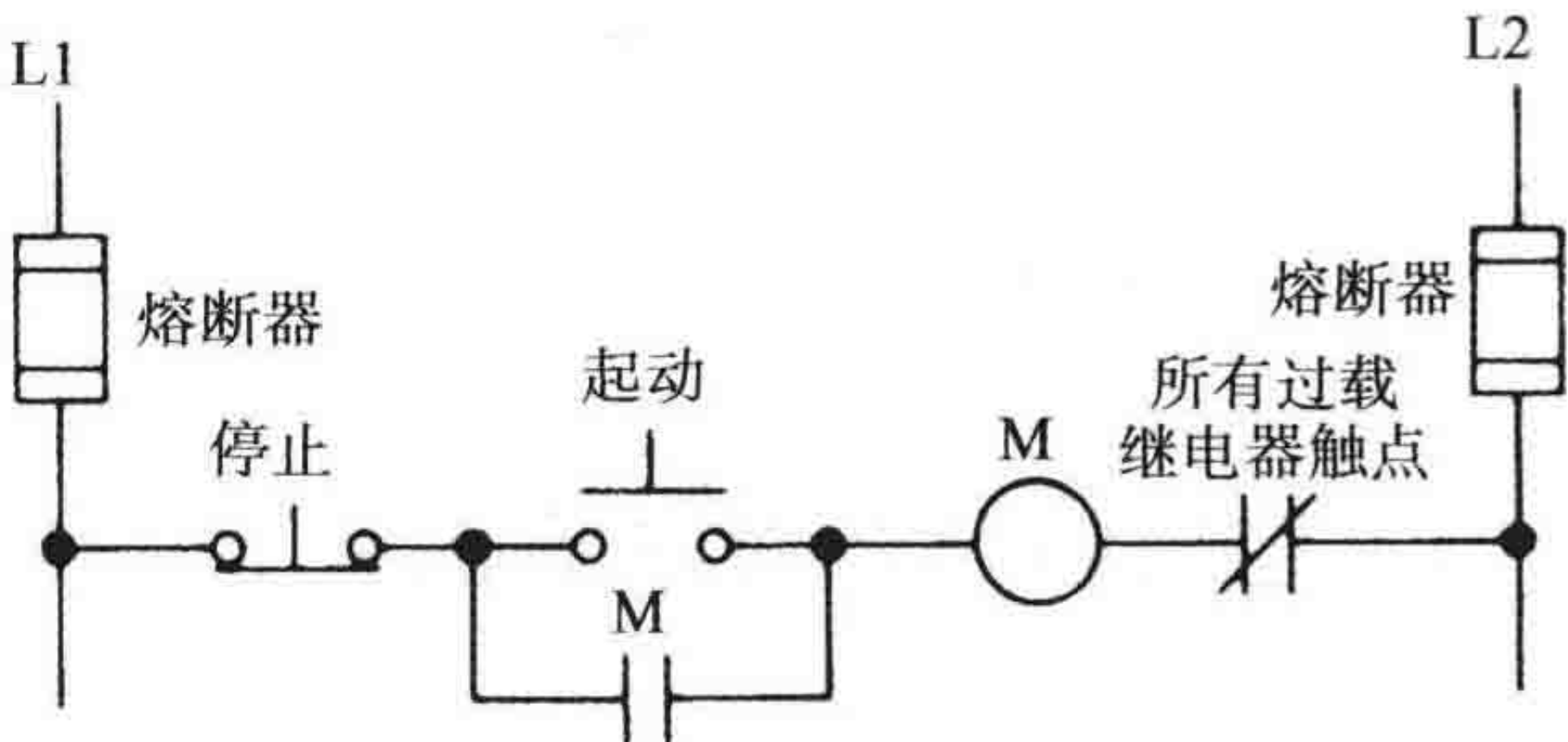


图 4-29 含两个熔断器的过电流保护控制电路 (Allen-Bradley 产品)

4.10 控制电路中的变压器

变压器可用于降压或者升压。当控制设备连接到高压线路时，控制电路的电压通常使用降压变压器来获取。通过使用低电压给起动器线圈通电来控制高电压和大电流电路，该线圈有能处理高电压和大电流的接触器触点。由于较低的电压允许使用较细的导线，因此，控制



台也能放置在远离实际操作装置和电动机的地方。

很多电路使用熔断器作为保护装置。注意观察图 4-30 中使用的熔断器。在这个电路中，有一个熔断器用于保护变压器，它接在变压器二次侧的电路中。图 4-31 用了两个熔断器保护变压器的二次侧电路，而图 4-32 则为变压器一次侧和二次侧电路都连接了熔断器，并且一次侧的一条线接地。图 4-33 所示的一次侧电路没有接地，所以用了两个熔断器，一个用在 L1 上，一个用在 L2 上，二次侧电路也有两个熔断器。图 4-34 所示的控制电路变压器一次侧的线都接有熔断器，而二次侧电路没有熔断器，所有线均与地连接。

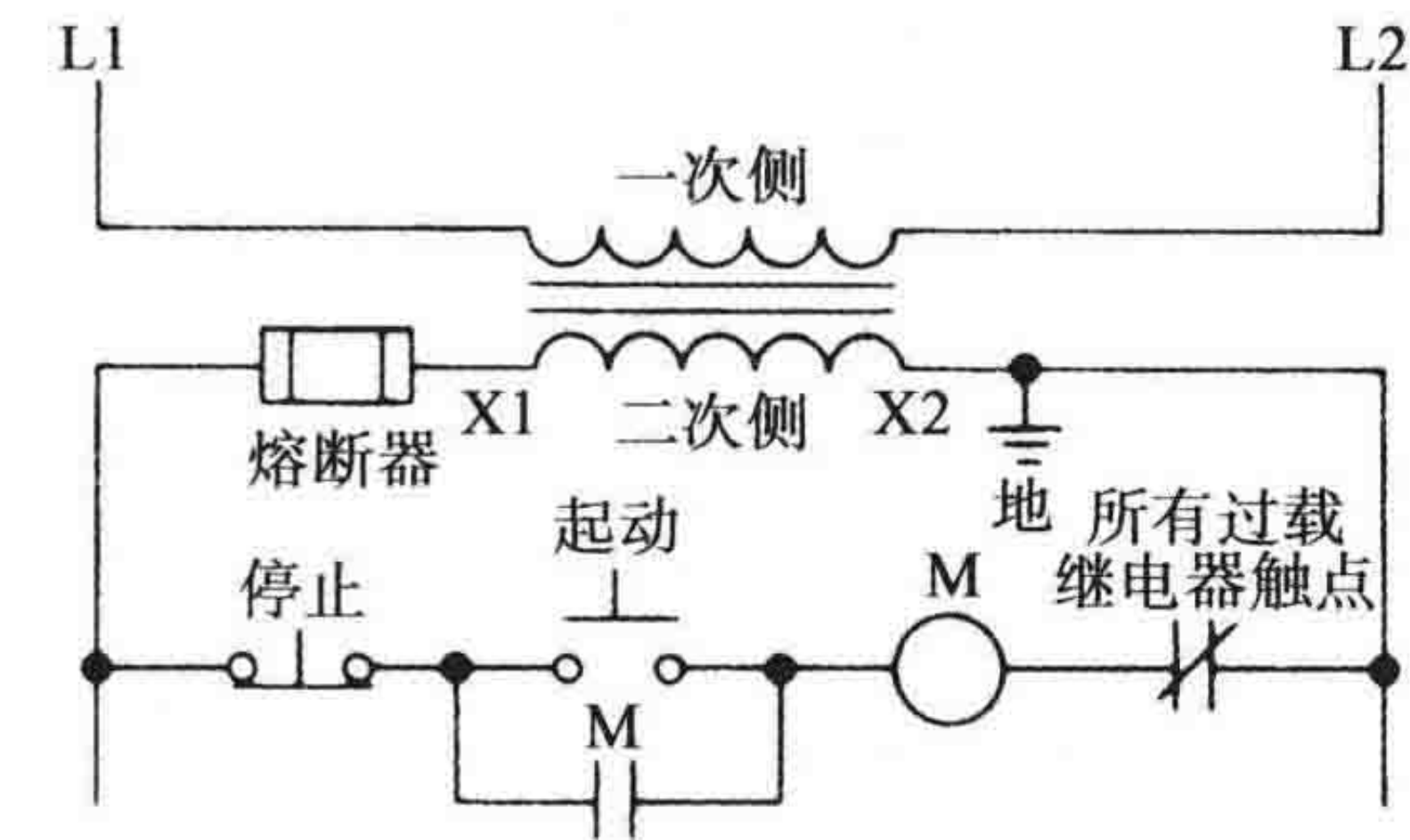


图 4-30 使用一个熔断器保护的电路变压器 (Allen-Bradley 产品)

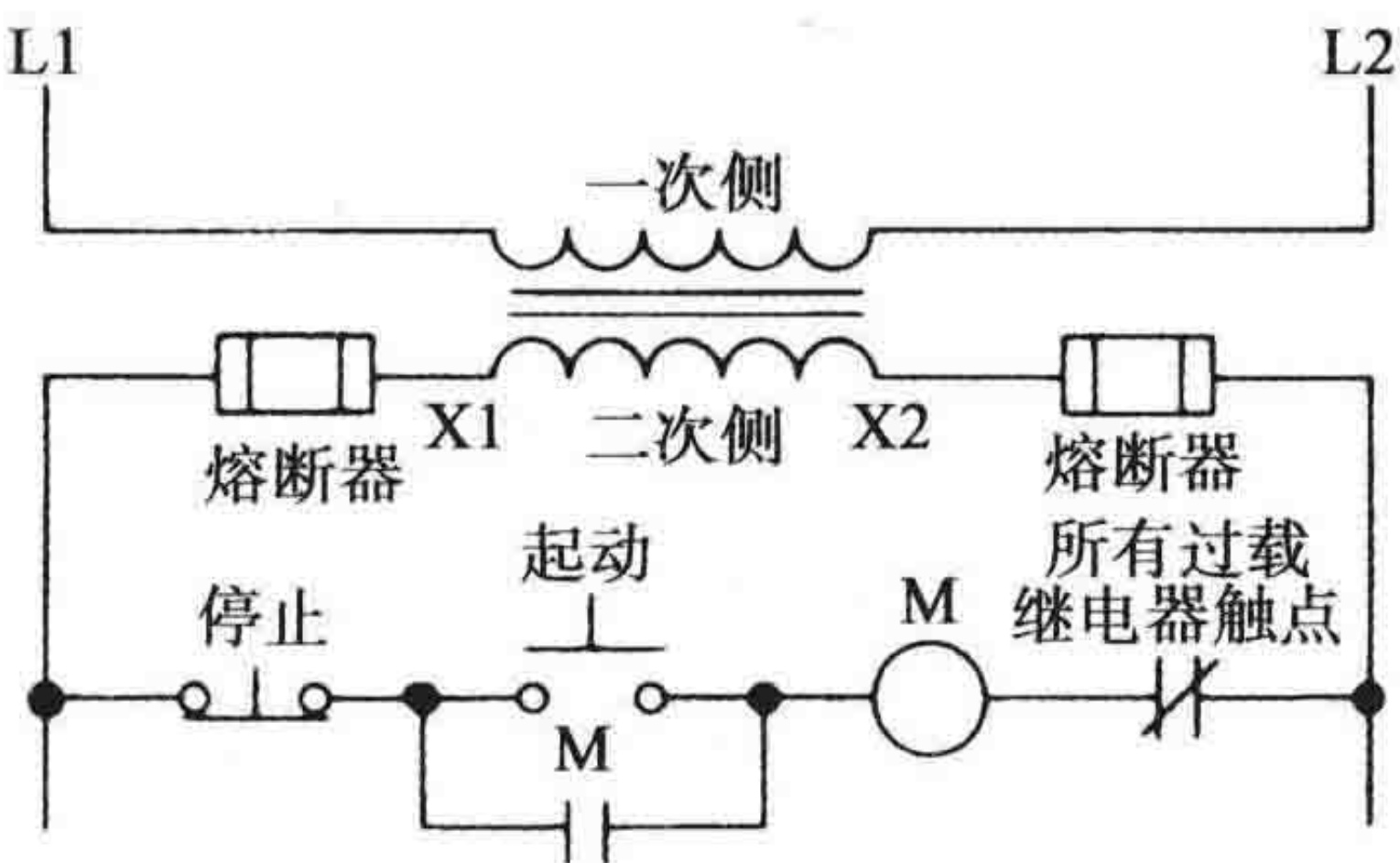


图 4-31 使用两个熔断器保护的电路变压器

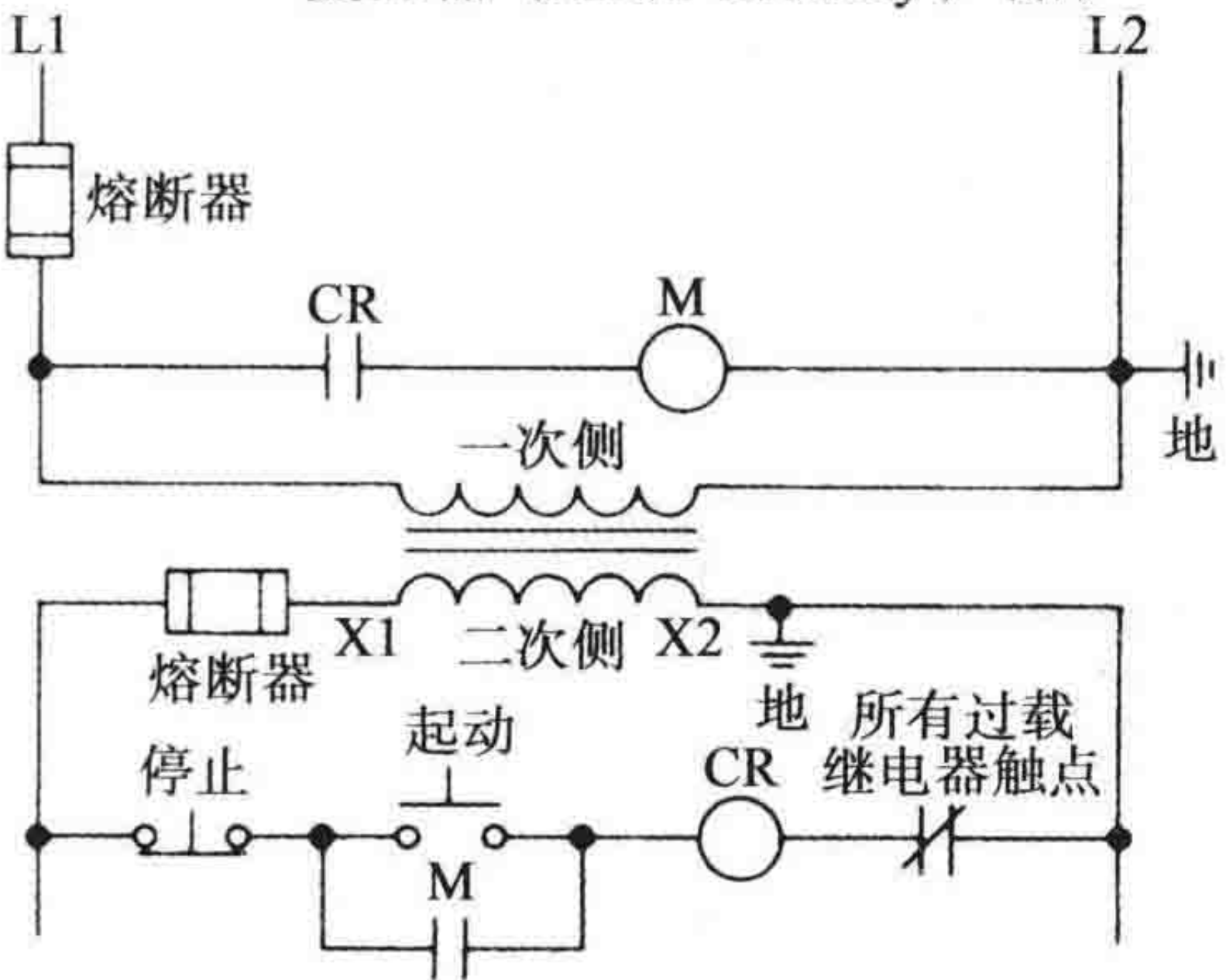


图 4-32 一次侧和二次侧各带有一个熔断器的控制电路变压器 (Allen-Bradley 产品)

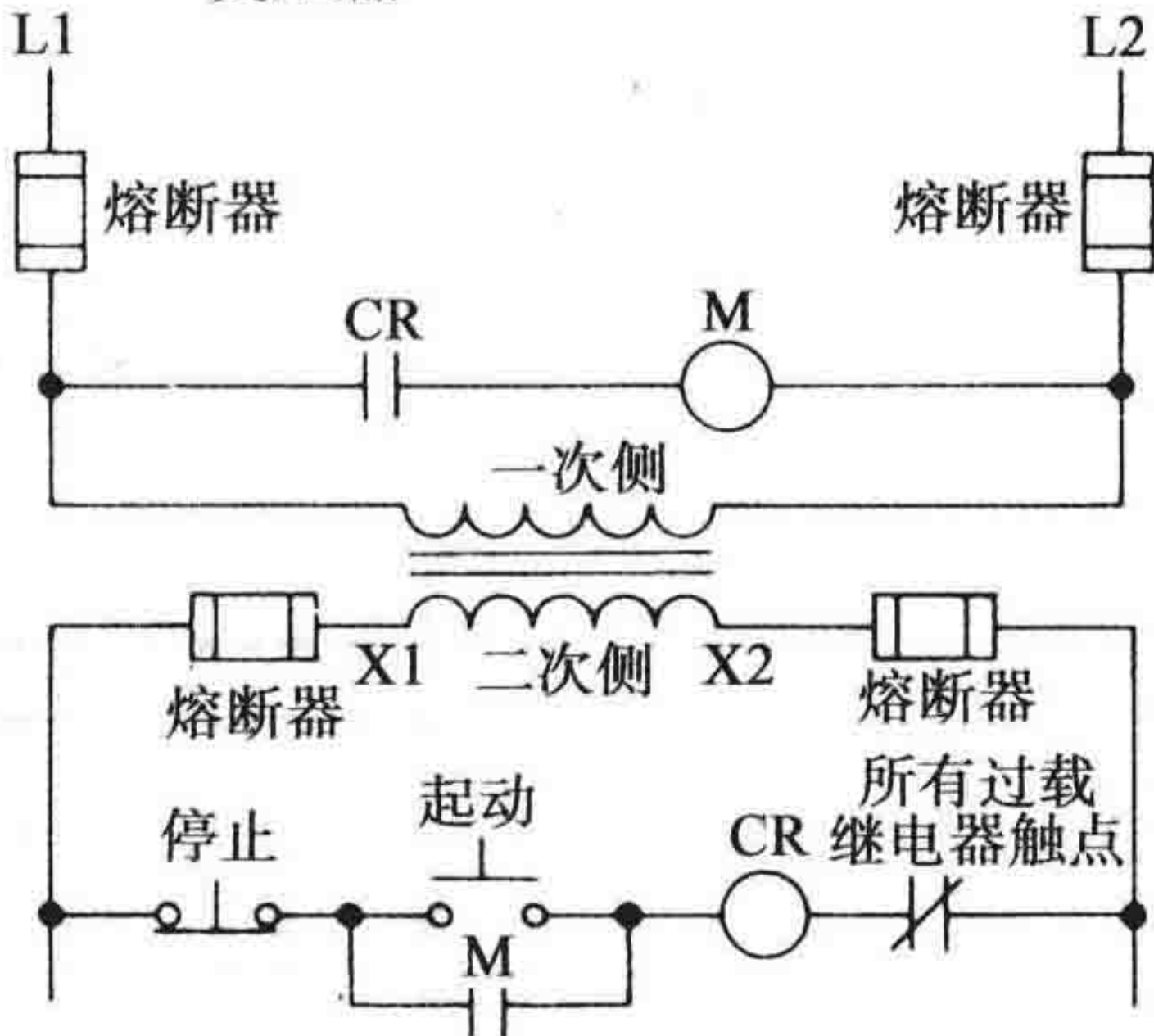


图 4-33 一次侧和二次侧都接有熔断器的控制电路变压器 (Allen-Bradley 产品)

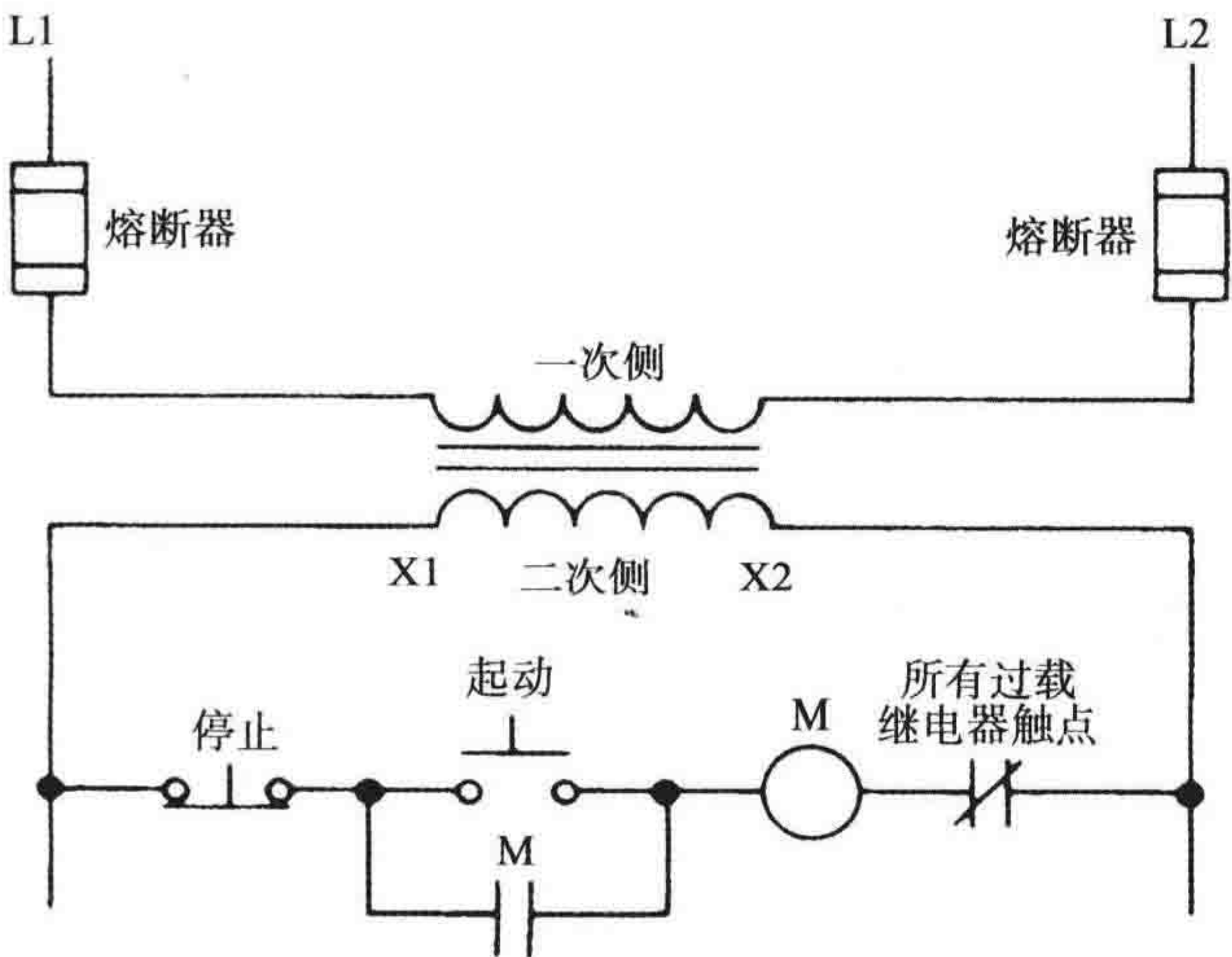


图 4-34 一次侧两边都接有熔断器的控制电路变压器 (Allen-Bradley 产品)



图 4-35 所示为一个接线图和梯形图，其中控制线路是三线控制，并由降压变压器提供电压。起动器（接触器）线圈的工作电压低于线电压，通常出于安全考虑，采用降压变压器为控制线路提供低电压。起动器是通过起动 - 停止按钮台来控制的。当控制线路降压变压器和这类起动器一起使用时，“X”接线必须去掉。注意变压器二次侧增加了一个熔断器。

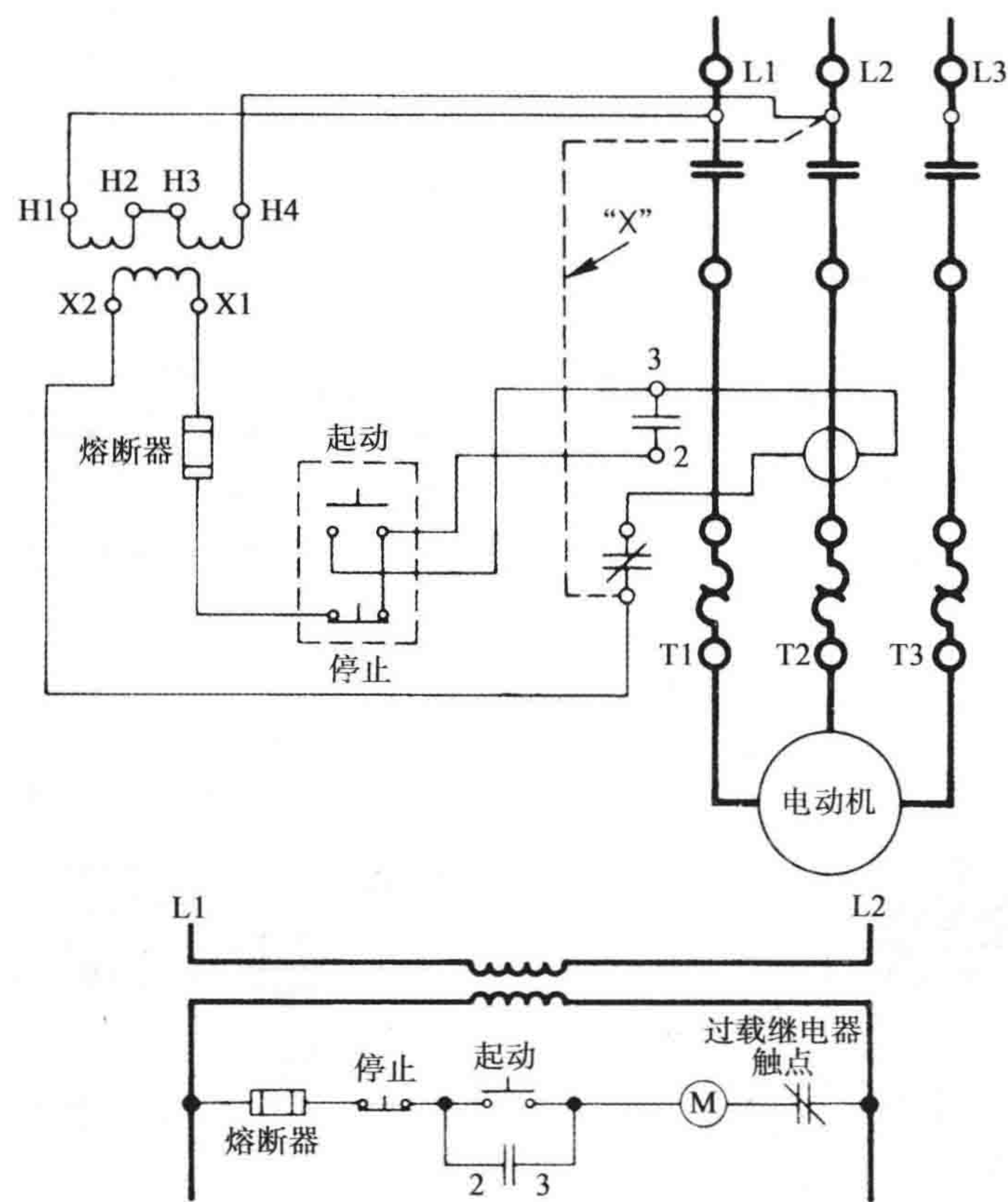


图 4-35 控制电路中的降压变压器、接线图和梯形图 (Allen-Bradley 产品)

4.11 思考题

1. 为什么导线连接点和端子标记对电工是非常有用的？

2. 手动起动开关的作用是什么？

3. 描述一下梯形图。

4. 什么是保持接触控制装置？

5. 两线控制系统和三线控制系统的区别是什么？

6. 对于继电器，断电意味着什么？

7. 什么是欠电压保护？

8. 跳线的作用是什么？

9. 瞬时暂态电流有效值可以达到多大？

10. 什么是转子堵转电流？
11. 什么是热过载保护器？

12. 为什么控制电路需要熔断器？

13. 为什么要设计手动起动开关？

14. 线路图为我们提供了什么类型的信息？

15. 线路图的另一个名称是什么？

16. 电路图中，“L1”代表的含义是什么？

17. 术语“两线”是什么意思？

18. 为什么在继电器中内置电阻？

19. “CR1”和“CR2”是什么意思？

20. 线路图和接线图的区别是什么？



## 4.12 练习题

并联电路在电力工程的很多地方都会用到，复习一下此电路的性质对从事电力工作的人来说会很有用。

$$I_T = I_{R_1} + I_{R_2} + I_{R_3} + \dots$$

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \quad \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

1. 在一个电路中，一个  $4\Omega$  的电阻和一个  $8\Omega$  的电阻并联连接，这个电路的总电阻是多大？
2. 在一个电路中，一个  $36\Omega$  的电阻和一个  $18\Omega$  的电阻并联连接，电路的总电阻是多少？
3. 3 个电阻值分别为  $5400\Omega$ 、 $78\,000\Omega$  和  $112\,000\Omega$  的电阻并联连接，如果流经  $112\,000\Omega$  电阻的电流为  $10\text{mA}$ ，那么流经另外两个电阻的电流分别是多少？
4. 3 个电阻值分别为  $10\,000\Omega$ 、 $5000\Omega$  和  $15\,000\Omega$  的电阻并联，如果流经  $15\,000\Omega$  电阻的电流为  $30\text{mA}$ ，那么流经另外两个电阻的电流分别是多少？
5. 问题 3 中的总电流多大？
6. 问题 4 中的总电流多大？
7. 要想得到  $10\,000\Omega$  的电阻，需要多少个阻值为  $100\,000\Omega$  的电阻并联？
8. 两个阻值分别为  $3.3\text{k}\Omega$  和  $4.7\text{k}\Omega$  的电阻并联接到  $9\text{V}$  的电源上，电源流出的电流是多大？



# 第 5 章

## 开 关

### 5.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 解释鼓形开关是怎样工作的。
2. 描述浮动开关的动作机理。
3. 知道怎么使用操纵杆。
4. 知道出于安全原因为什么使用互锁开关。
5. 描述按钮互锁。
6. 识别不同类型的限位开关。
7. 解释按钮、压力开关和选择开关的操作。
8. 解释瞬时开关的使用和操作原理。
9. 解释起停开关的动作机理。
10. 解释如何操作拨动开关、温度开关和真空开关。

### 5.2 控制电

为了能使用电，我们有必要控制它。我们要在正确的地点正确的时间使用它，否则，它能造成巨大的伤害，甚至致人死亡。通过使用开关、继电器或二极管可以控制电，这些器件将电流引到需要用它的地方。要仔细地选择每一个器件以完成特定的功能。例如，继电器用于远程控制，二极管用于控制电力电子设备中的大电流或小电流。二极管只允许电流单向流动，它可将交流电转换成直流电。

工业控制无非是由继电器、二极管和开关组成的，它们都是为了完成特定功能而设计的。开关可能会以温控器或压敏元件的形式出现；继电器可能只有一组触点，也可能有很多触点，甚至多达 40 个触点；二极管可能小到和大头针一样大小，也可以大到和散热片一起来处理大电流。在汽车发电机上，使用二极管可以控制发电机的输出。发电机产生交流电，由二极管将其转换成直流电后进行输出。

开关是控制电最常用的装置，它能完成所有的工作。开关有很多尺寸和形状，它们有很多不同类型的触点，用于各种各样的场合。在电动机控制方面，开关的触点必须能够耐受启动时的冲击电流以及停止时电动机磁场消失所产生的感应冲击电流。本章将讨论用来起停电动机以及改变其旋转方向的开关。开关名字已按字母顺序进行了排序。电工技术人员应熟悉各制造商以及制造商为了使装置适应特殊工作所做的改进。



5.3 鼓形开关

电动机控制最常用的开关就是鼓形开关（如图 5-1 所示）。它能够使电动机反向旋转或者停止运行。鼓形开关可用于直接起动多相交流电动机、单相交流电动机，或者使直流电动机反向旋转。它们结构紧凑，价格低廉，但很坚固。

5.3.1 易于转变

使用鼓形开关可在保持接触和瞬时动作间进行转变。这种转变包括卸掉手柄螺钉和手柄，将轴转动 180°，然后更换手柄和手柄螺钉。

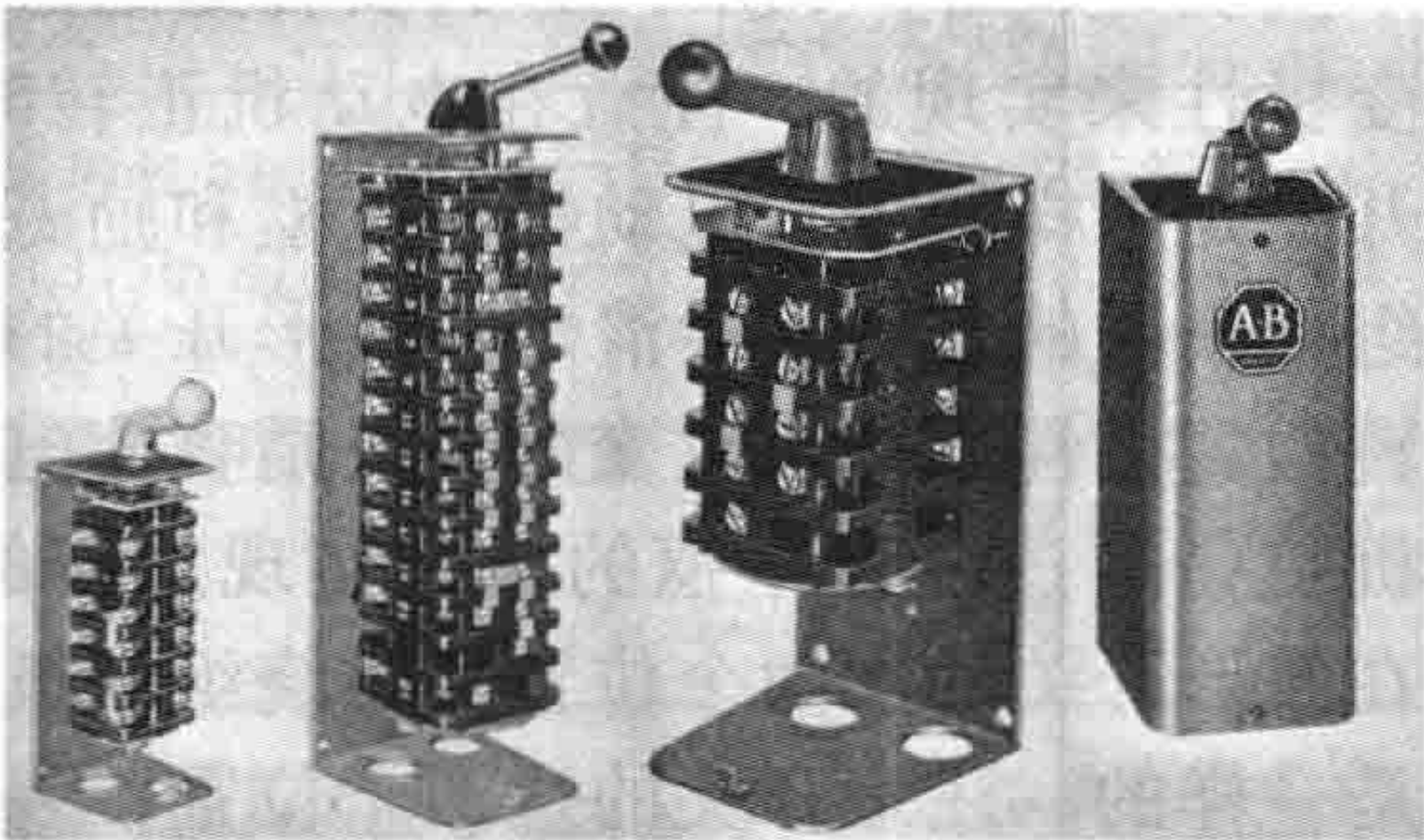


图 5-1 鼓形开关（Allen-Bradley 产品）

手柄可以转动安装在绝缘转轴上的动触点。随着轴的转动，动触点和控制器里面的静触点就会接通或者断开。因为触点像鼓一样转动，所以将其称作鼓形开关。因为鼓形开关使用一个凸轮来实现开关动作，所以鼓形开关有时也称为凸轮开关。

图 5-1 所示为完全封装起来的鼓形开关的外形，其绝缘手柄用于移动触点。图 5-2 所示为开关的 6 个触点接成停止 - 反转 - 正转时的位置。注意观察开关动作时是怎样改变起动和运行绕组的连接以实现反转的。

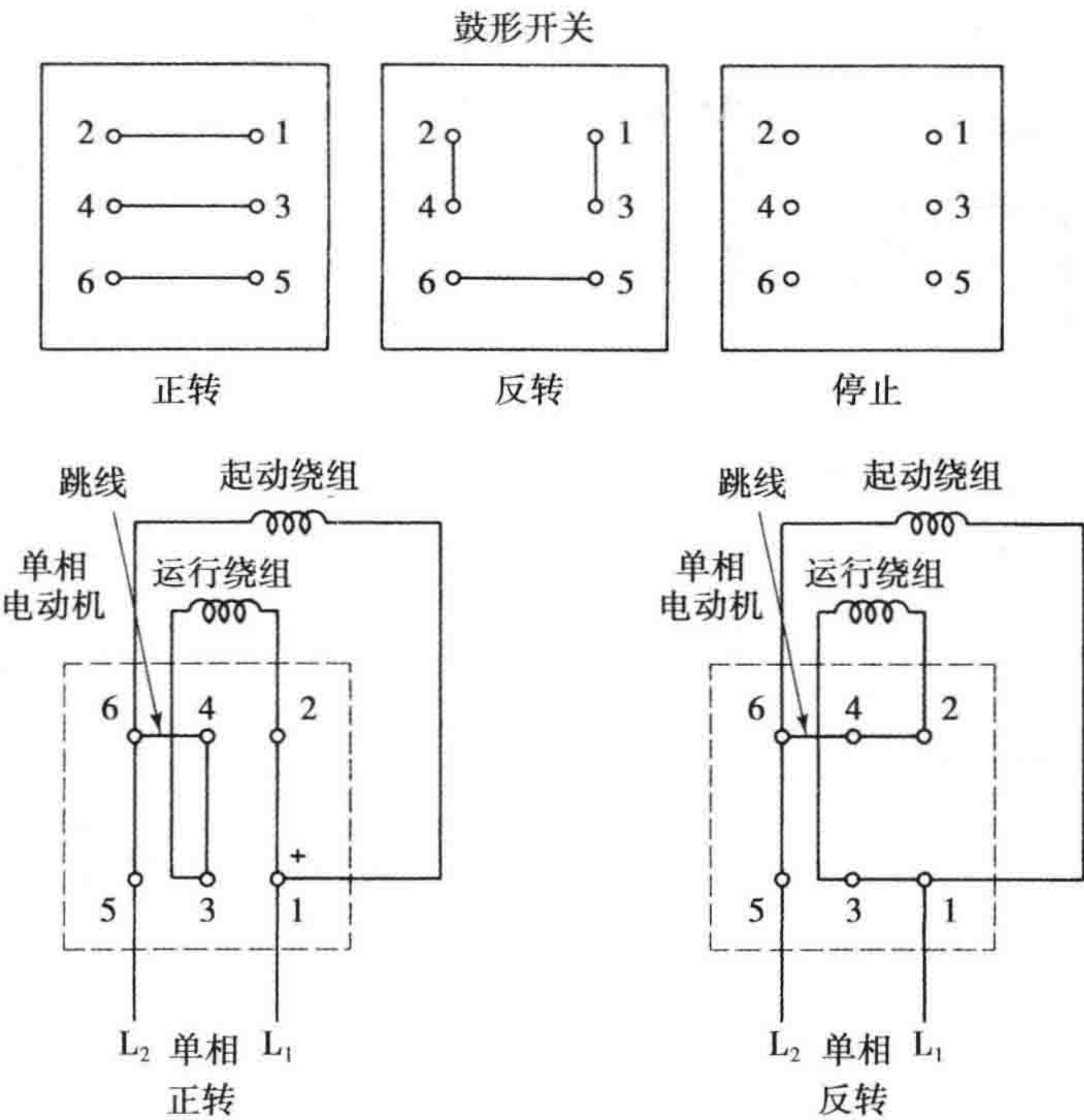


图 5-2 通过鼓形开关使单相电动机反转

5.3.2 三相开关

三相电动机也可以利用鼓形开关来实现反转。记住，只需改变两相的接线就能使三相电动机反转（如图 5-3 所示）。



5.3.3 直流开关

直流电动机的控制也可通过鼓形开关来实现（如图 5-4 所示），其反转是通过改变极性来实现的。注意在电动机正转时，开关是怎样使串励电动机的电枢和励磁绕组相串联的，然后弄清楚在鼓形开关的反转位置极性是如何改变的。复励直流电动机也是通过改变电枢的极性实现反转的。在鼓形开关的这两个位置励磁绕组的极性是一样的。注意开关的这两个位置，观察绕组是怎样以相同的方式接到“-”极和“+”极上的，然后看看电枢是如何通过“-”极和“+”极进行转换的，使之向相反的方向旋转，这是通过使开关上的 5 和 6 在正转和反转时保持一致来实现的。

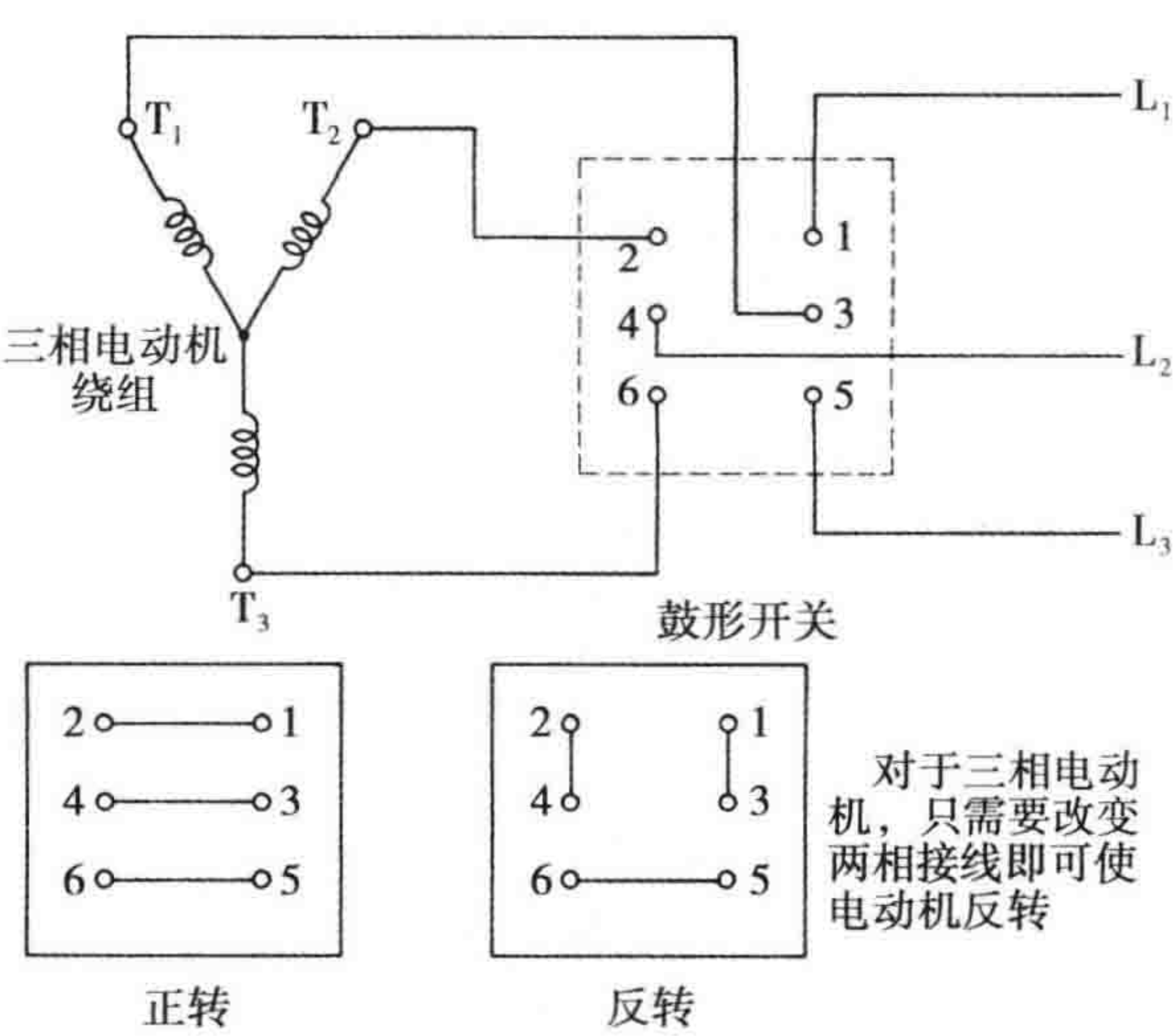


图 5-3 用鼓形开关使三相电动机反转

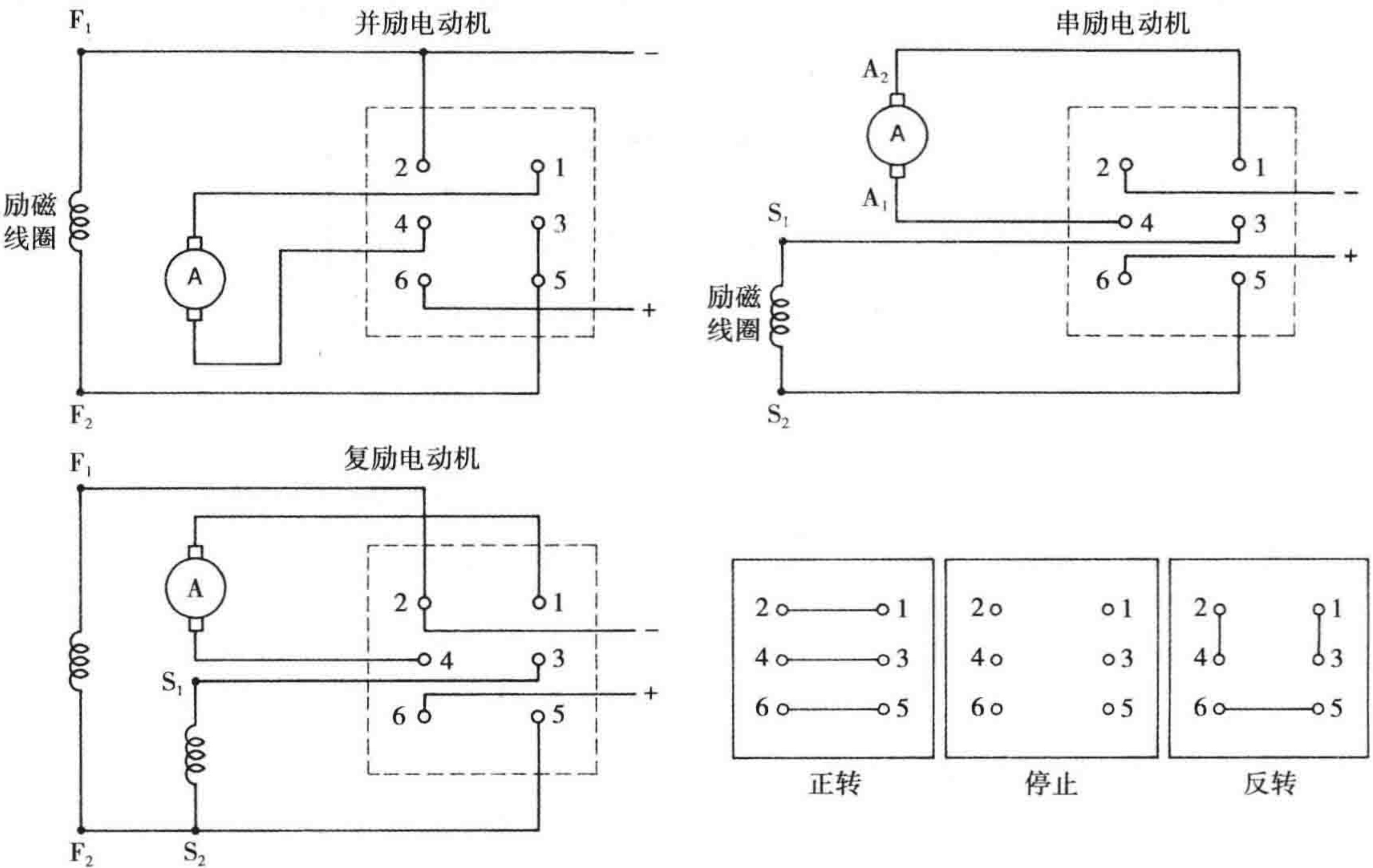


图 5-4 鼓形开关控制的直流电动机

有些直流电动机用换向极（换向绕组）抑制电刷电弧。因此，要记住，这些绕组也是电枢电路的一部分。

5.4 浮动开关

浮动开关能为排水泵或油池中的油泵电动机提供自动控制。浮动开关有 5 种不同的类型，它们配有杆或链条控制，可以安装在墙壁上或地面上（如图 5-5 所示）。浮动



开关用在交流或直流泵的电磁起动器的自动控制中，或者是对轻型电动机负载的直接控制。

描述	安装在墙上	安装在地面
<p><b>单臂杠杆</b></p> <p>A 型和 D 型的浮动开关使用长达 9ft 的杆，B 型和 C 型的浮动开关使用长达 18ft 杆，浮球固定在杆的一端，杆的顶端有可调限动环来操作开关。垂直的浮球运动可能需要导架</p>	 <p>包括两根长 3ft 且直径为 0.375in 的黄铜管，带管接头、限动环以及铜质浮球</p>	 <p>包括地面安装托架，长为 20ft 且直径为 1in 的管道，安装配件，两根长为 3ft 且直径为 0.375in 的黄铜管，带管接头、限动环以及铜质浮球</p>
<p><b>双臂杠杆</b></p> <p>杆长达 33ft，双臂杠杆带有配重以抵消杆的重量。浮球在杆上上下移动，所以尽管水位变化很大，但是浮球只移动很短的距离，杆的顶端固定到开关杆上。垂直的浮球运动可能需要导架</p>	 <p>包括浮动开关的双臂杠杆，配重。两根 3ft 长且直径为 0.375in 的黄铜管，带管接头、限动环以及铜质浮球</p>	 <p>包括浮动开关的双臂杠杆，地面安装托架，长为 20ft 且直径为 1in 的管道，安装配件，两根 3ft 长直径为 0.375in 的黄铜管，带管接头、限动环以及铜质浮球</p>
<p><b>双平行臂</b></p> <p>长达 33ft 的非导架杆。平行杠杆的设计可以保持杆垂直，否则杆就会向一边移动。浮球在杆上上下移动，所以尽管水位变化很大，但是浮球只移动很短的距离，杆的顶端固定到开关杆上</p>	 <p>包括浮动开关的双臂杠杆，配重、两根长 3ft 且直径为 0.375in 的黄铜管，带管接头、限动环以及铜质浮球</p>	 <p>包括浮动开关的双臂杠杆，配重，地面安装托架，长为 20ft 且直径为 1in 的管道，安装配件，两根长为 3ft 且直径为 0.375in 的黄铜管，带管接头、限动环以及铜质浮球</p>
<p><b>双臂杠杆，双滑轮</b></p> <p>链条控制独立双滑轮的辅助设备，该设备有一个浮球固定在一个滑轮的一端，另一端带有一个配重。可调限动环可以移动浮动开关操纵杆</p>	 <p>包括双滑轮托架，长为 15ft 带限动环的青铜链、配重以及铜质浮球</p>	 <p>包括双滑轮托架，长为 15ft 带限动环的青铜链、配重以及铜质浮球，长为 20ft 且直径为 1in 的管道和安装配件</p>
<p><b>双臂杠杆，单槽轮</b></p> <p>用于美国电气制造商协会规定的 1 类和 4 类外壳上的 A 型浮动开关，单槽轮安装在浮动开关的顶部，链条一端固定浮球，另一端固定着配重。链条上的可调限动环可以移动浮动开关操纵杆</p>	 <p>包括一个滑轮，长为 15ft 的青铜链，限动环、配重以及铜质浮球</p>	 <p>包括一个滑轮，长为 15ft 的青铜链，限动环、配重以及铜质浮球，长为 20ft 且直径为 1in 的管道和安装配件</p>
<p><b>单臂杠杆，独立滑轮</b></p> <p>两个滑轮和这些配件都是独立于开关的。链条一端固定浮球，另一端固定着配重。可调限动环可以移动浮动开关操纵杆</p>	 <p><b>安装在墙上</b> 包括两个独立安装的滑轮，带有限动环 15ft 长的青铜链，配重以及铜质浮球</p>	

图 5-5 自动浮动开关（Allen-Bradley 产品）

根据水箱或油箱的位置和深度，可以利用配件使浮动开关有多种操作方式（如图 5-6 所



示)。在某些腐蚀性的液体中可以用不锈钢的浮球、杆、链条以及限动环等。把它们配置为常开或者常闭形式。图 5-7 显示了浮动开关在电路中的连接方式。注意观察开关的常开和常闭操作。图 5-7 是从地下室自动抽水最常用的方法之一，它能防止任何形式的渗漏或水浸造成的损坏。一旦水位使开关闭合，它将接通水泵的电动机。

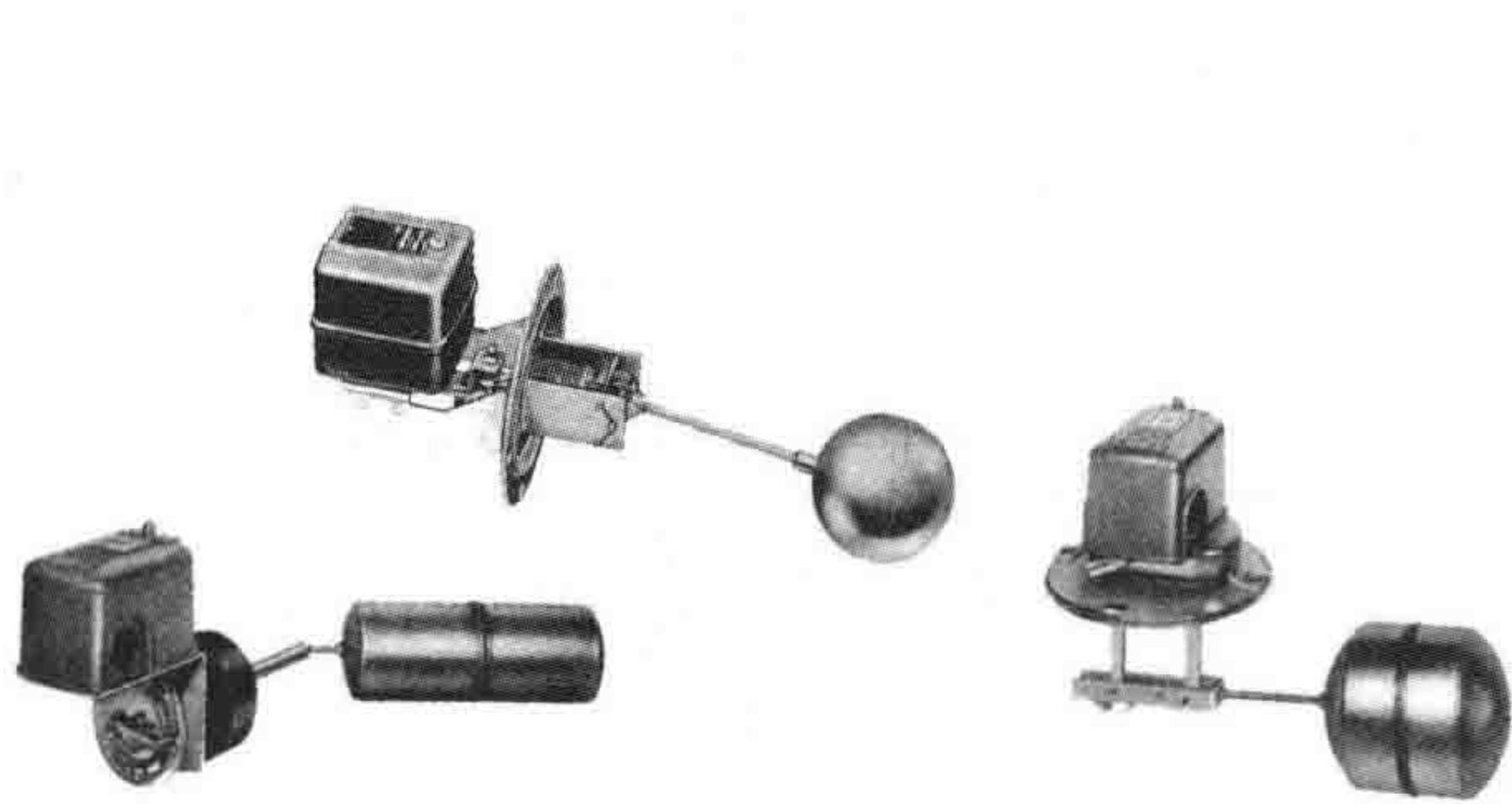


图 5-6 浮动开关配件 (Square D 产品)

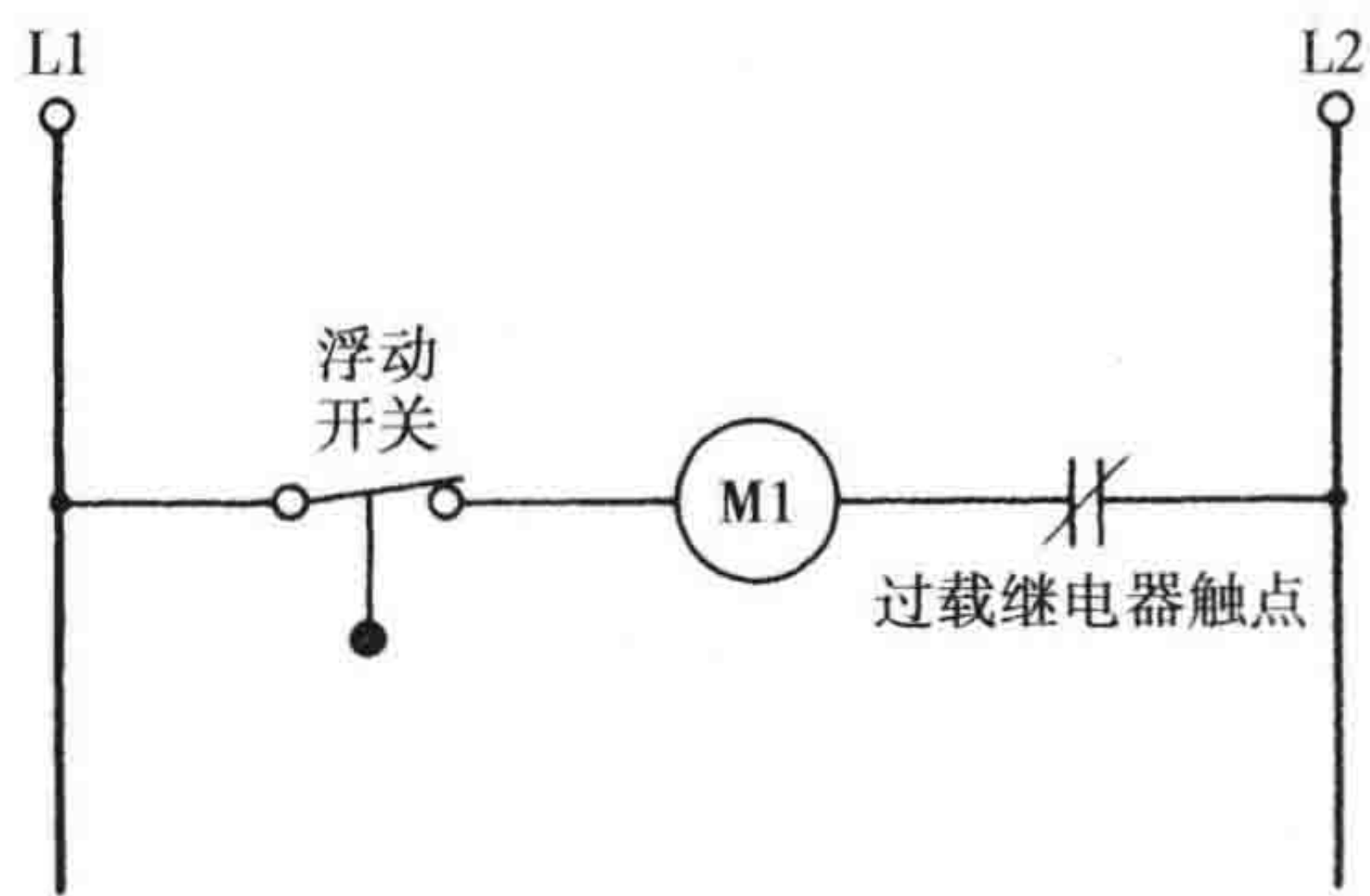


图 5-7 接入电路中的浮动开关

如果是小的低功率电动机，使用这个开关可以直接控制电动机。如果是较大功率的水泵电动机，使用浮动开关可以使磁力电动机的起动器通电。

5.5 流量开关

流量开关用来检测管道或导管中液体、水、油或其他气体的流动。它无非就是一个常开或常闭开关，并且带有一个从开关外壳延伸出来的操作器（如图 5-8 所示）。考虑到开关在应用时会组合使用或改变，所以大多流量开关都是可以调整的。

这些开关在很多地方都非常有用。它们可以检测风洞中的气流或空调管道的气流，也可用于报警或者起动电动机。

它们可以指示自动喷水灭火系统中水的流动方向。在没有火灾触发的情况下，如果自动喷水灭火系统开始动作，该系统可以用于警示负责人。警报的响声能提醒操作人员在因为水造成过多损失前关闭自动喷水灭火系统（见图 5-9）。

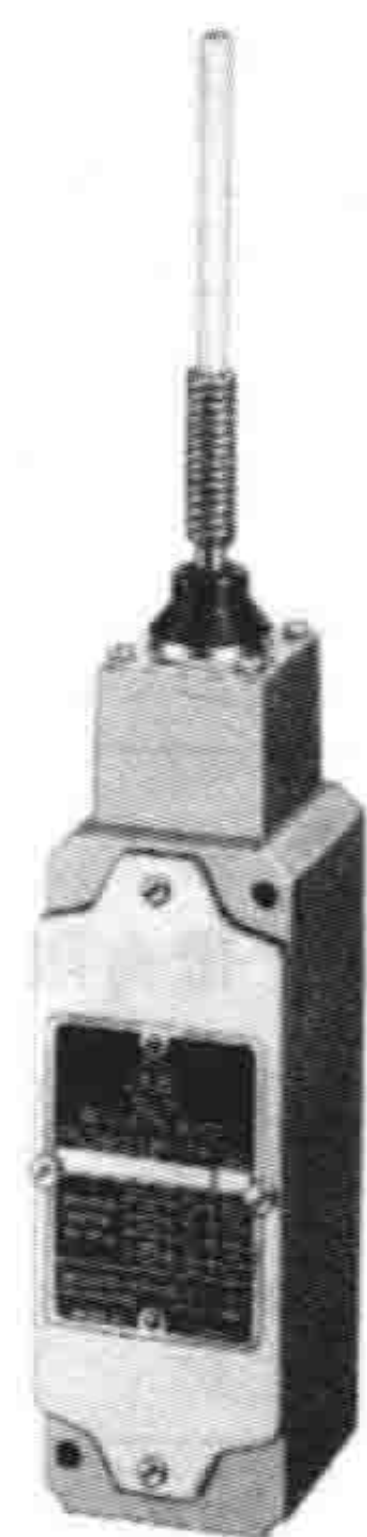


图 5-8 带尼龙棒油密封的限位开关 (Allen-Bradley 产品)

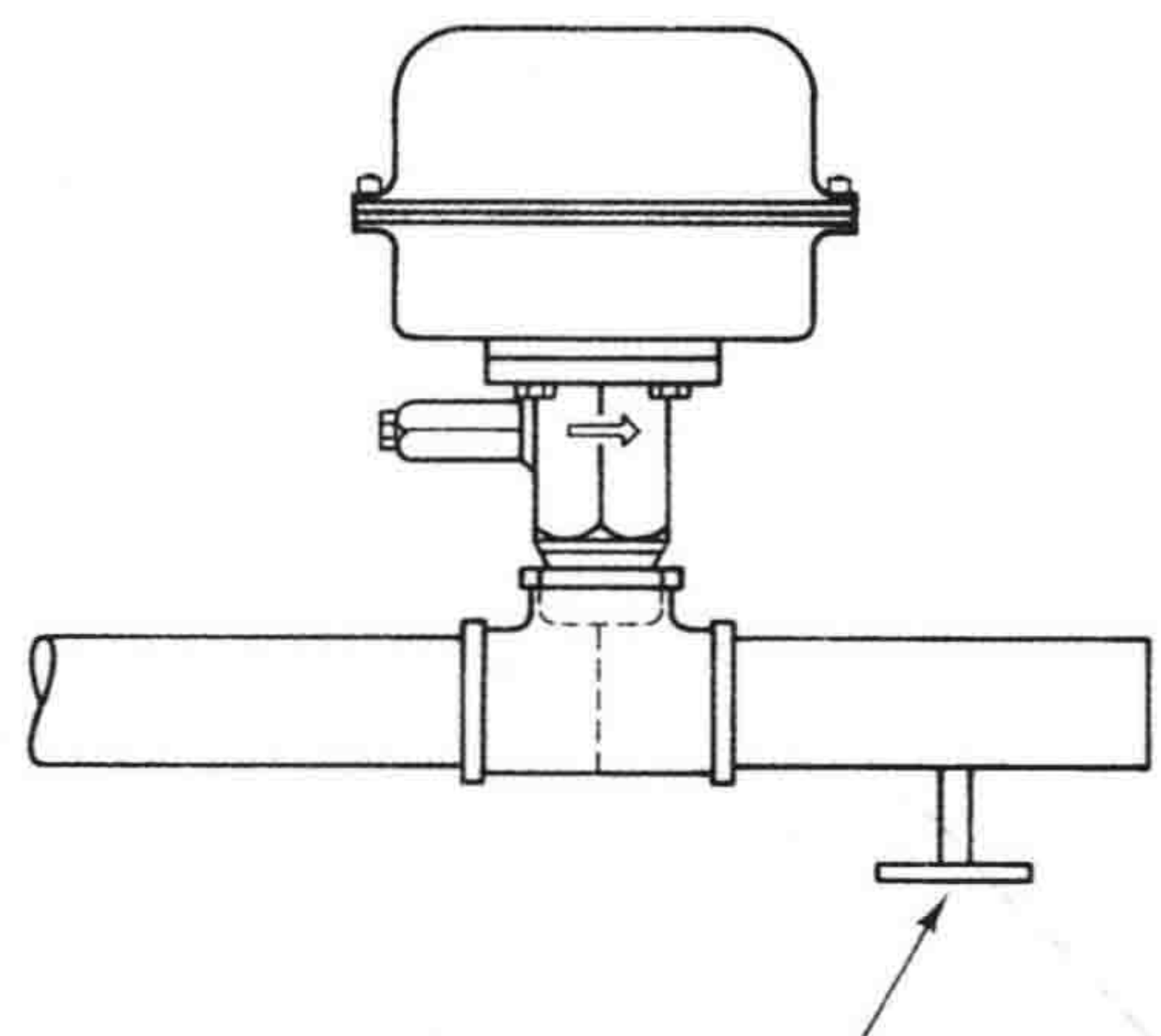


图 5-9 流量开关为自动喷水灭火系统提供故障声音报警



通过流量开关可以检测堵塞的空气过滤器。流量开关经过调整，可以用于指示过滤器被堵塞和没有足够的空气使电动机或其他设备进行冷却的情况。气流检测对供热系统很重要。如果不允许适量的空气流过加热线圈，那么电加热系统特别容易损坏，而且如果没有稳定的空气流给予适当的冷却，线圈可能被烧坏。图 5-10 所示为流量开关的工作电路。

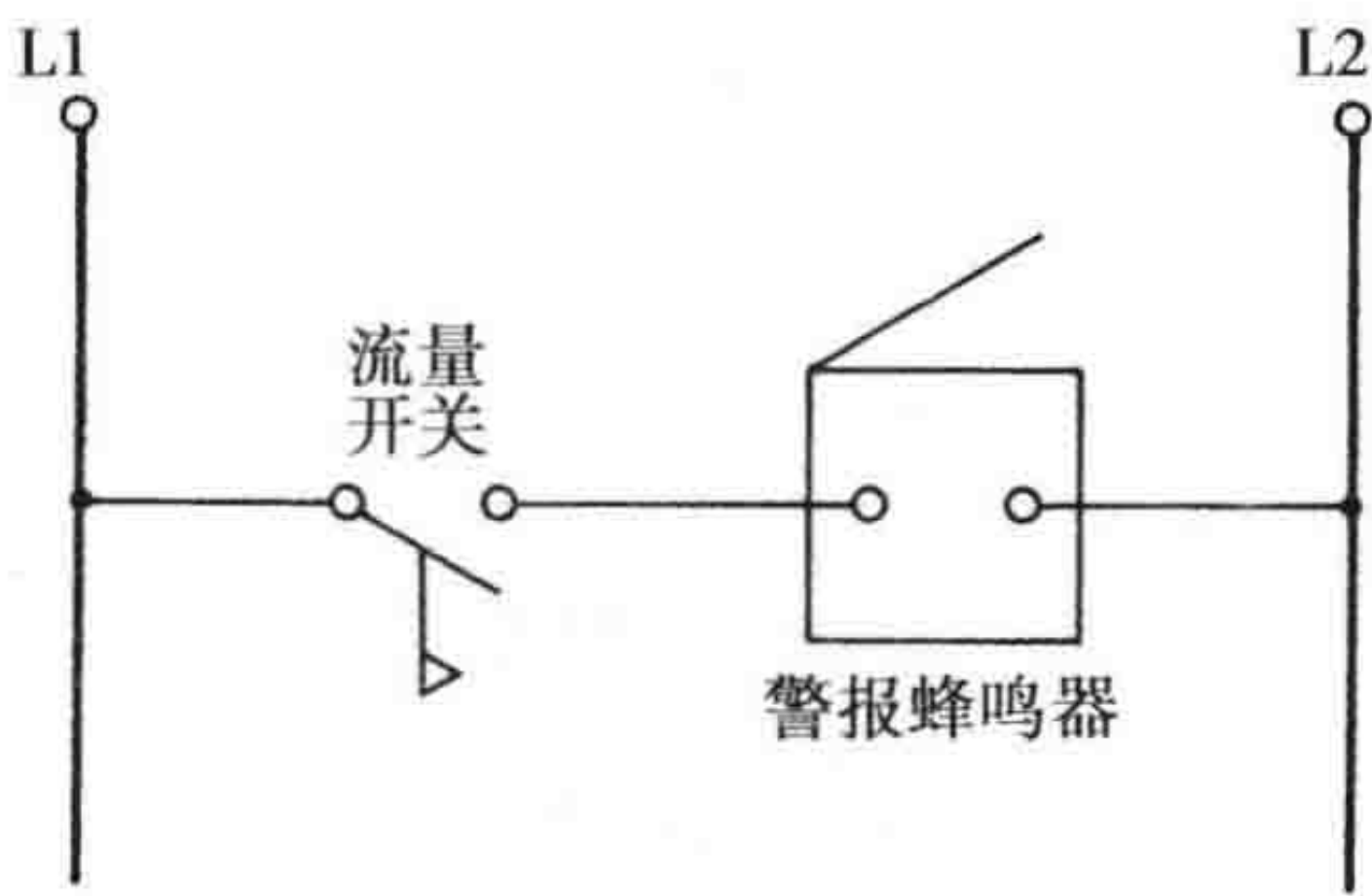


图 5-10 使用流量开关的电路

5.6 脚踏开关

顾名思义，脚踏开关就是用脚踩进行施压操作的开关。因为它们用在装订机、旧型号的汽车前灯调光器以及其他需要操作员用双手操作的机器上，所以由脚完成开关的通断操作。这种开关通常是重载型的，其尺寸、电压和形状多种多样。许多限位开关可以转变成用脚来操作。

有些住宅照明的落地灯通常就是由安装在灯底座上的脚踏开关来控制的。

5.7 操纵杆开关

尽管操纵杆开关可以用于很多操作的控制中，但它是一种相当新的装置，并常常与计算机一起使用（见图 5-11）。在对起重机进行操作时，这种类型的开关可以发挥很好的优势，这是因为操作者必须盯着负载，而不是开关。

有两种操纵杆开关：一种是标准式——操作者可以自由移动操纵杆；另一种是锁定杆式。锁定杆式操纵杆开关要求操作者在移动操纵杆之前解除锁定环，开关动作可以是瞬时接触或者保持接触，或者是两者的组合。

注意图 5-12 中触点在不同位置时的组合。操纵杆的中心位置用于关闭或停止控制。图 5-13a 显示了操纵杆是如何接入电路的，根据操纵杆闭合开关时的不同位置可以对至少 4 种负载进行操作。开关可以调整为两触点位置、三触点位置、四触点位置或八触点位置。开关上触点的布局决定了开关的功能。维修和安装人员可以根据需要改变触点的布局。

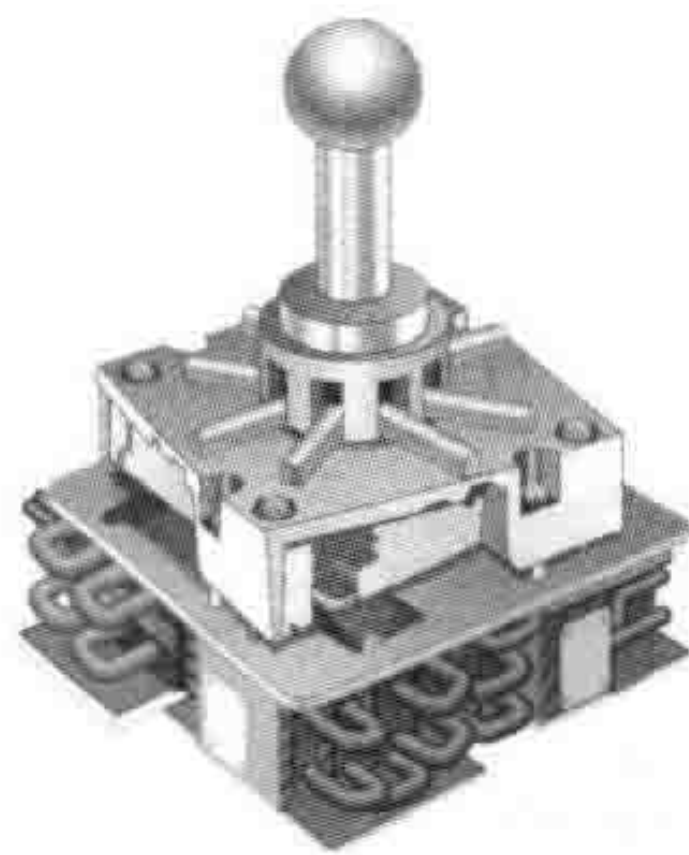


图 5-11 操纵杆开关 (Square D 产品)

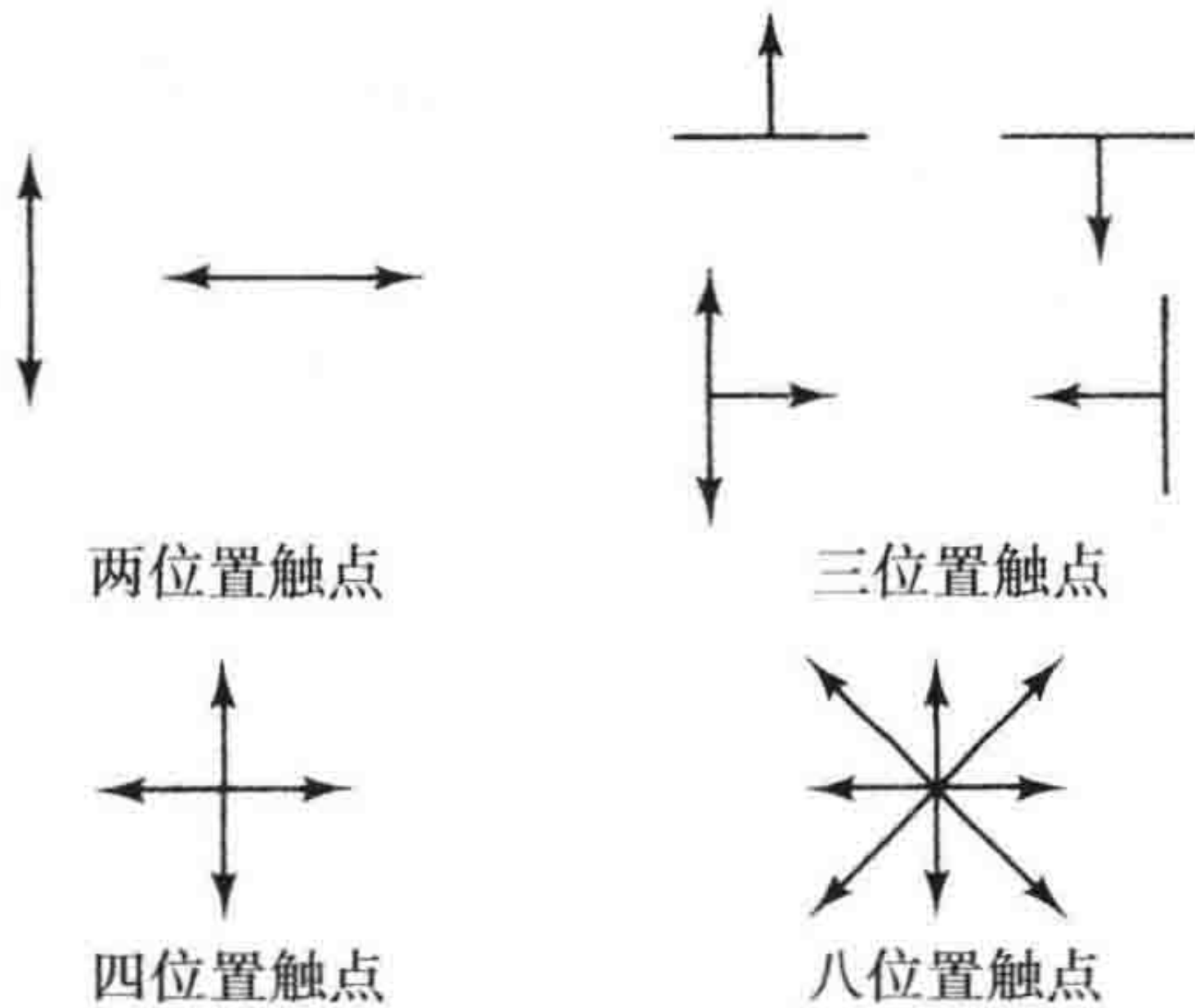


图 5-12 操纵杆的触点位置

每当某项工作要求把物体从左边移到右边，或者是从上面移动到下面的时候，都可以使用操纵杆来实现。一个很好的例子是操作铁水桶或者起重机来完成很多任务。操纵杆操作负载有许多优势，因为不会有两个触点同时闭合，在一个电路断开和另一个电路接通之间有短暂的延时，这就意味着负载不会快速地改变方向。



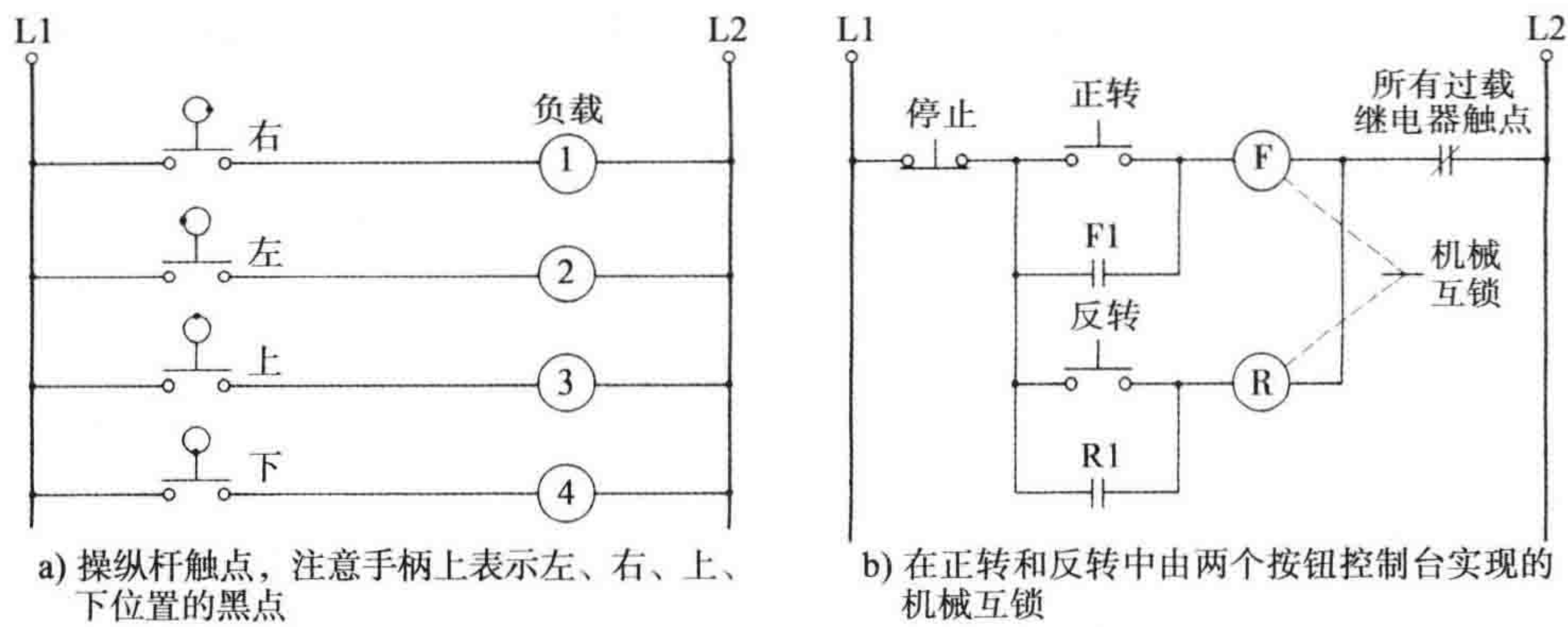


图 5-13 操纵杆的电路图

5.8 互锁开关

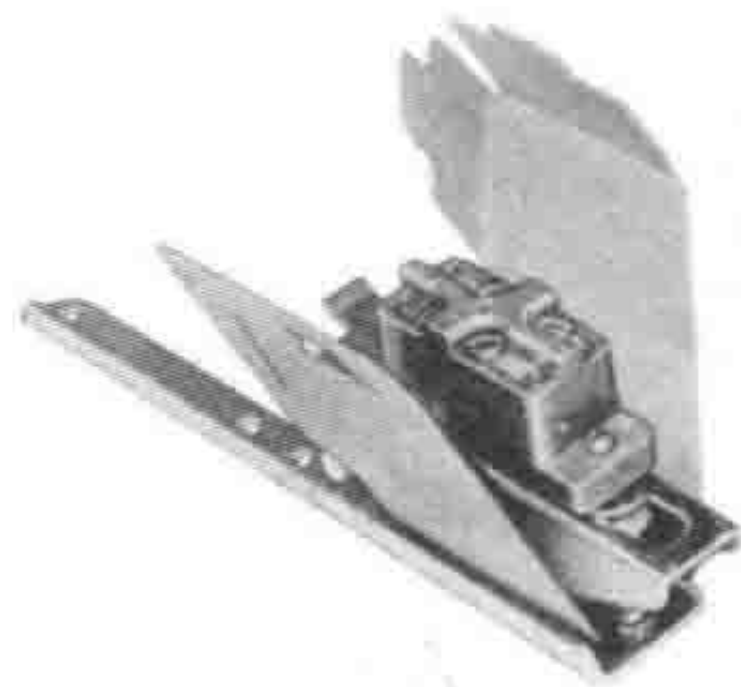
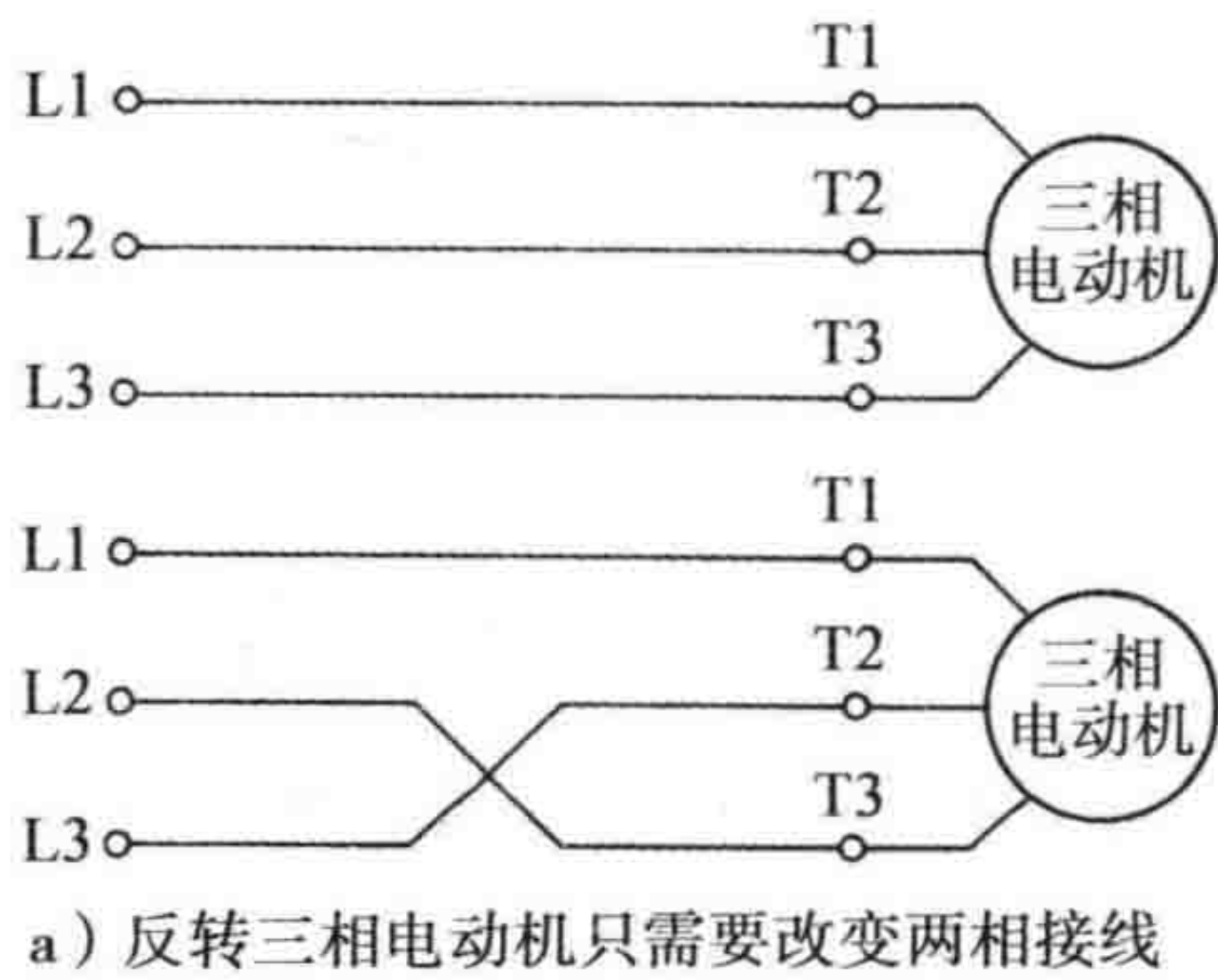
使用互锁开关是出于安全考虑。这样做是为了确保在改变电动机绕组电路使其开始反转前电动机的正转已停止。辅助触点互锁、机械互锁、按钮互锁是 3 种最常用的互锁方法，它们均能满足保护的需求。

5.8.1 机械互锁

使用梯形图能够说明机械互锁是怎样实现其功能的（见图 5-13b）。从正向线圈到反向线圈的虚线用来表示机械互锁。这种类型的互锁开关通常由起动器制造商提供。通常会在按钮间插入一片材料，这样当一个按钮被按下时，另一个按钮不会被按下。按下正转按钮，接通 F 线圈所在电路，F 线圈得电，触点 F1 闭合。要记住，该按钮触点与 F1 触点是并联的。这意味着释放按钮，电路依旧可以通过 F1 触点而不是按钮触点形成的电路通电，这通常称为保持（自锁）。F 线圈一直得电，直到停止按钮按下。一旦按下停止按钮，F 线圈失电，F1 触点断开。停止按钮回到常闭状态，这时可以按下反转按钮，使 R 线圈得电，与反转按钮并联的 R1 触点会闭合。电路会一直得电，直到停止按钮按下，线圈 R 将失电。

机械互锁能防止正转按钮和反转按钮同时按下时正转和反转控制电路同时接通。它还能防止当正转电路接通时，接通反转电路。

记住，机械互锁的触点在线路图或者梯形图中不会显示。对于互锁的组合开关，当按下一个按钮时另一个则将被禁用。这样能防止短路和烧毁。如图 5-14 所示，三相电动机通过改变任意两相接线即可实现反转。双向电动机起动器有垂直或水平两种结构。



b) 单极或双极电气互锁可以加到隔离开关或断路器中（Square D 产品）

图 5-14 机械互锁



5.8.2 按钮互锁

双回路按钮可用于按钮互锁（如图 5-15 所示）。这种类型的互锁依靠电路完成，其目的是确保两个线圈不会同时得电。

注意图 5-15 所示的停止按钮是常闭的。这意味着，按下正转按钮时，线圈 F 得电，常开触点 F1 闭合，并保持正转接触器线圈得电。因为在正向和反向按钮单元中有常闭触点，所以在改变旋转方向之前没有必要按下停止按钮。如果电动机正转运行时反转按钮被按下，那么正转控制电路断电，反转电路接触器线圈接通并保持通电状态。

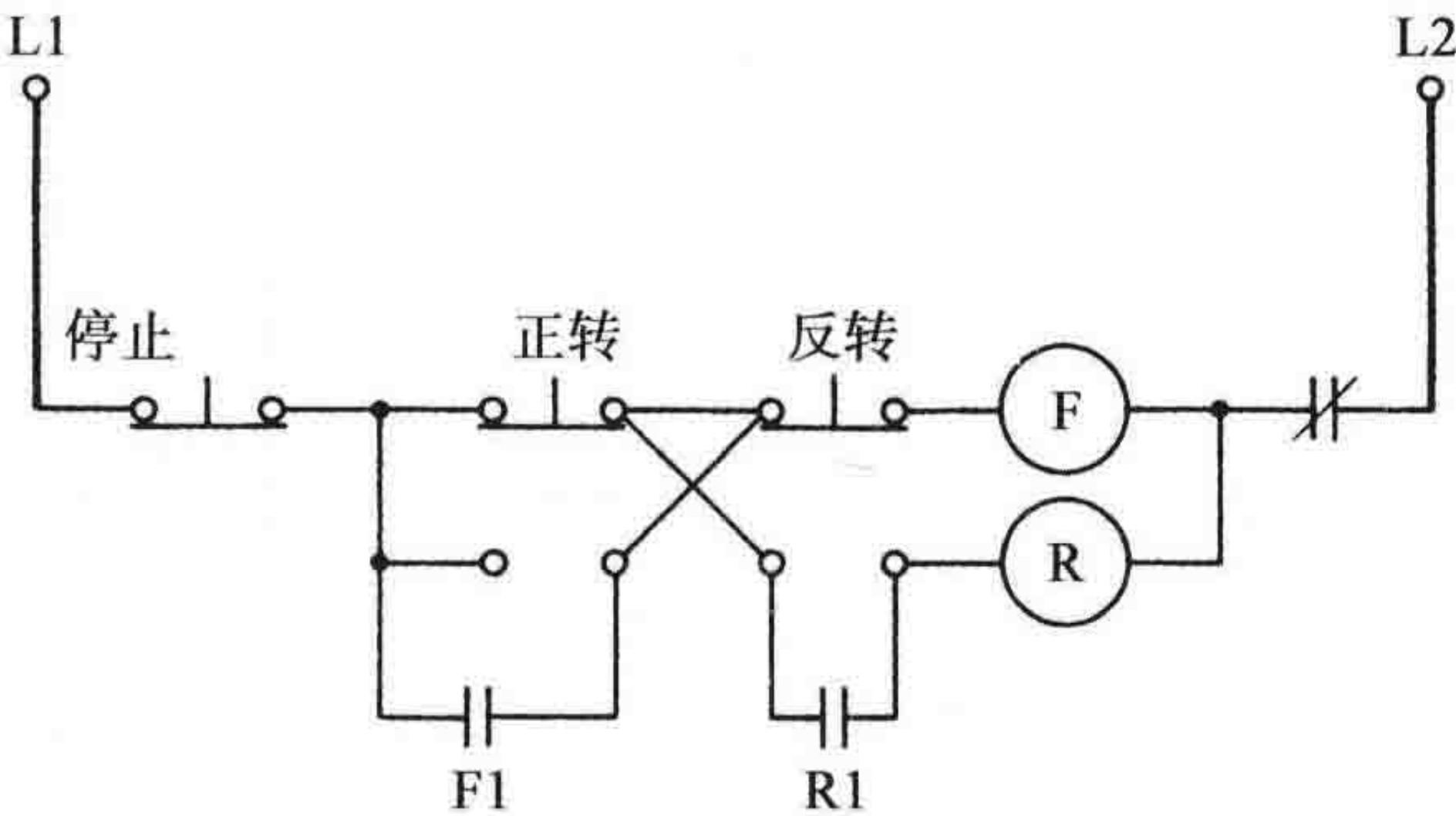


图 5-15 双回路按钮，按钮互锁

如果反向重复过快，可能会导致过热，过载继电器以及熔断器会按照预先设定发生动作。在大多数应用中，对电动机来说，在反向前电动机最好能停下来。然而，如果需要反向制动，起动器应该能够处理反向带来的问题，特别是它每分钟反向超过 5 次的时候。

5.8.3 辅助触点互锁

起动器上的常闭辅助触点可用于互锁，这是通过双向起动器上面一组独立的触点来实现的（如图 5-16 所示）。图 5-16 所示的三相电动机有一个正转线圈（F）和一个反转线圈（R），它们得电后 L1、L2、L3 上的触点闭合，通过内置在电动机绕组中的过载继电器后电动机通电。按下正转起动按钮，因为 R 线圈的常闭触点 R2 闭合，F 线圈所在线路接通。线圈 F 一旦得电，与正转按钮并联的 F 触点将保持闭合，进而维持线圈 F 得电。当线圈 F 得电时，F2 常闭触点断开，使 R 线圈不可能得电。F2 触点和 R2 触点为辅助触点，有时候安装在双向起动器的外边。在单相电动机反向的时候，要记住，无论是运行还是起动，绕组引线只有一个反向，而不是两个。图 5-17 显示了如何通过双向起动器实现单相互锁。

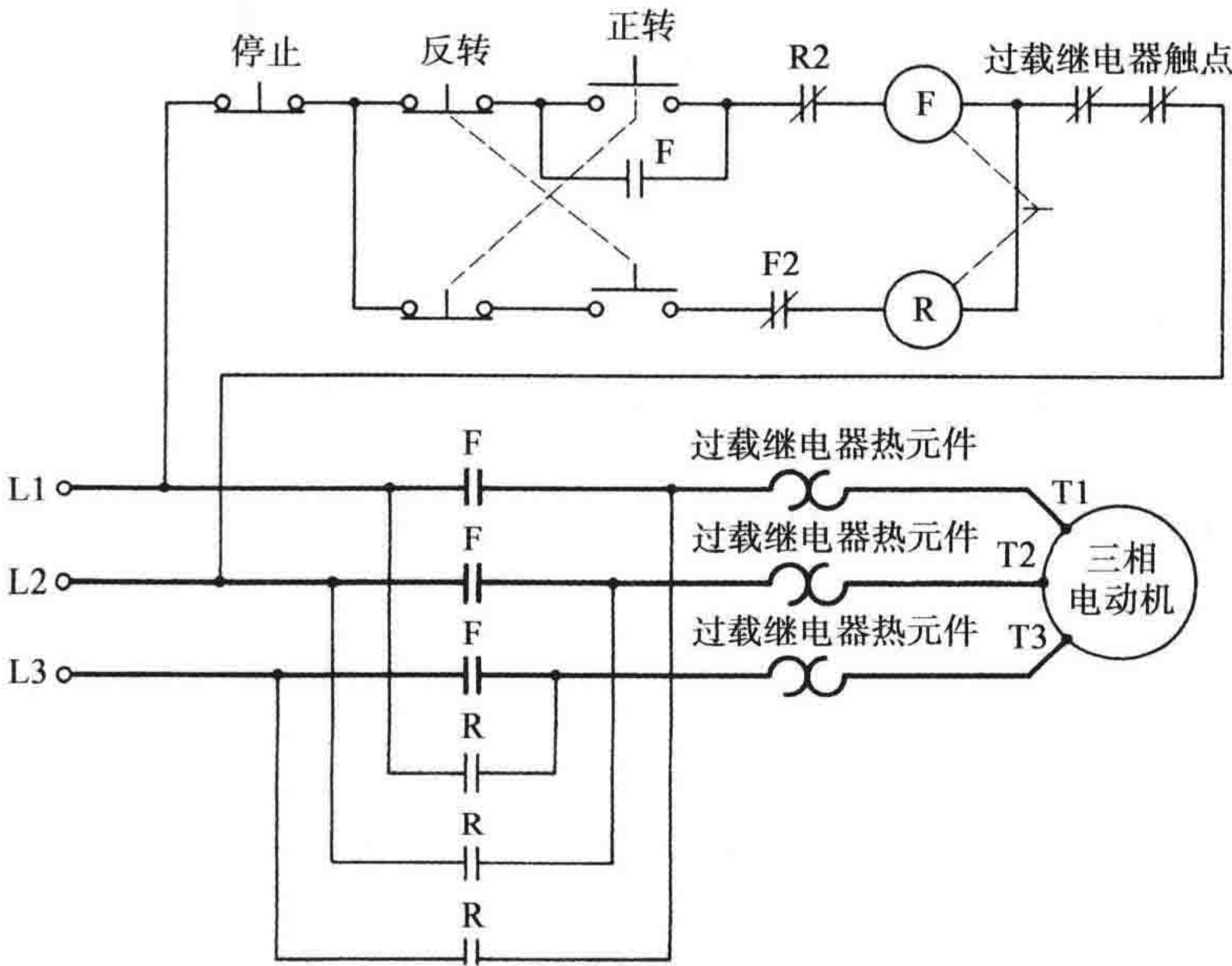


图 5-16 机械、按钮、辅助触点互锁



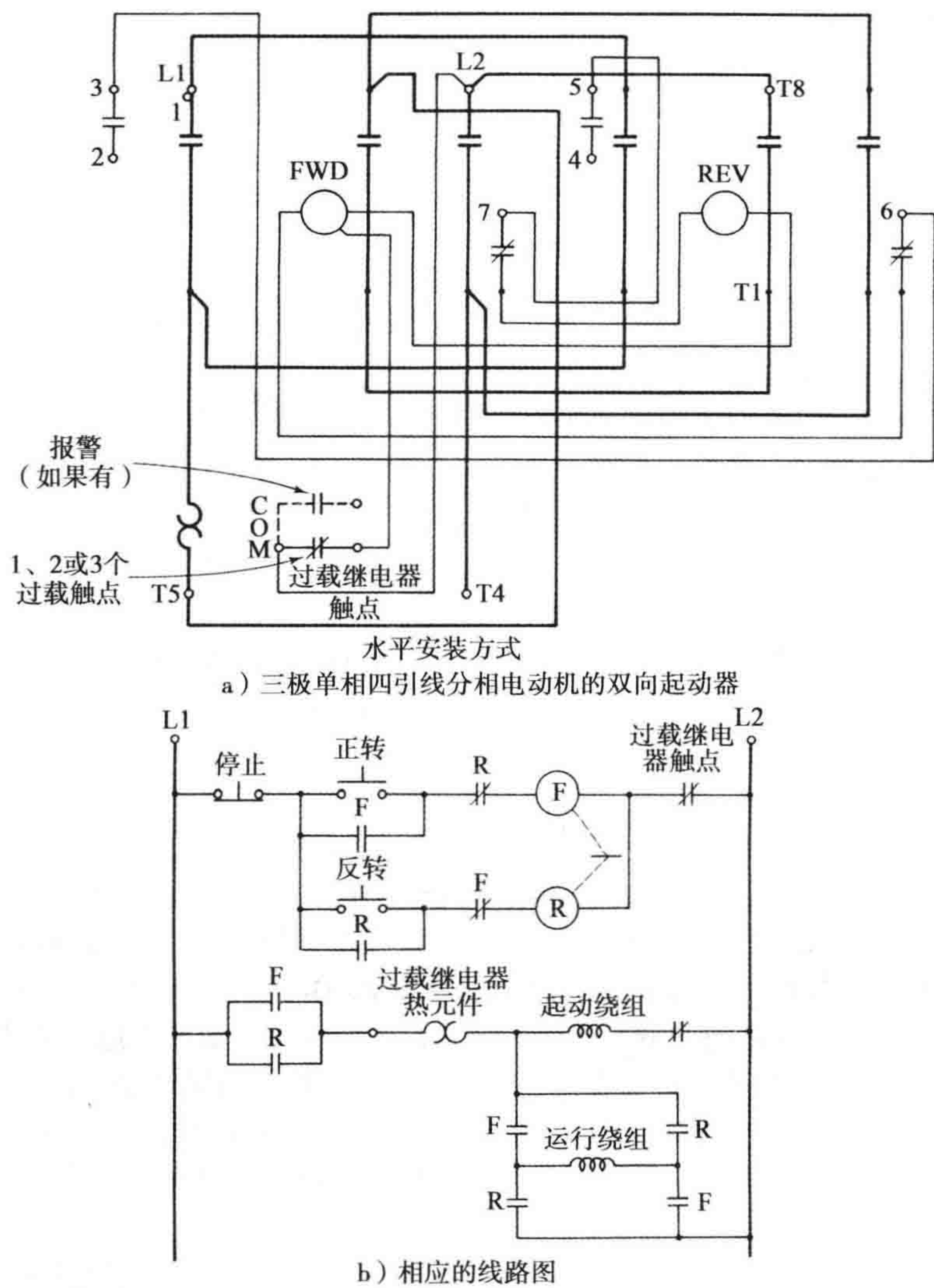


图 5-17 双向起动器实现单相互锁

5.9 限位开关

顾名思义，限位开关限制了与开关相连的机器的运行（见图 5-18）。许多工业生产线使用这种类型的开关，以限制生产线上各种设备的移动。一个使用限位开关的范例就是车库门遥控开关。当门被拉起时，在碰到电动机之前，它必须停止下来。限位开关能在门撞上把它拉起的电动机之前使电动机停止运行。同样，当门下降到指定位置后，也必须关闭电动机，当然，在门下降过程中保持电动机处于运行状态。限位开关能够完成这些工作，这些操作使半自动控制成为可能，或者是一旦该动作开始，某些物理状态将受限于限位开关。

限位开关可以用在起动、停止、正转、反转、往复、减速或加速等各种操作中。因为它们几乎可以完成所有这些工作，所以需要很多种尺寸和形状。

限位开关由两部分组成，即电触点以及实现触点通断功能的机械装置。执行机构可能有很多种形式。





图 5-18 限位开关

5.9.1 限位开关的类型

限位开关有很多种类型（如图 5-19 所示）。

	重型 精密 油密 C 型	C 型限位开关有极好的机械特性和长的电气寿命，安装和接线简单，有各种各样风格的驱动杆和主体可选，包括一种防爆水密可潜水的版本，还有标准、逻辑簧片和电气簧片触点，以及很多其他的特点。C 型应该是所有应用的首选
	重型精密油密 B 型	大多 B 型的限位开关都过于陈旧——选择 C 型要适合新安装
	小型 封闭 簧片开关 XA 型	XA 型是一种小型廉价的压铸锌开关，触点机构使用密闭的簧片。预接线以及带有密封簧片的灌封使得这种开关成为一个不错的选择，它并且兼顾了触点可靠性，不受环境影响，尺寸小
	重型 油密 T 型 铸造厂 FT 型	如果负载超过了 C 型触点的额定值，那么 C 型就不能完成要求的操作，或者需要高的跳闸和重置力时，应使用 T 型
		在铸造厂和磨坊使用 FT 型，因为需要满足上述 T 型中一个或多个特点，落下的热沙子和其他的外来物可能会堵塞限位开关
	精密 油密 AW 型	AW 型适用于要求有精密和油密的场合。尤其适用于在低的环境温度下需要使用杠杆式开关的应用，或者柱塞式开关的微米级调整
	国际 位置 开关 BD 型	新产品——符合国际标准，CENELEC EN 50041，用和 C 型以及 AW 型一样的杠杆臂
	瞬时开关	瞬时开关用于需要有基本触点机构的地方，外壳单独装饰或者没有，无论有没有操作人员均可

图 5-19 限位（位置）开关（Square D 产品）



重型精密油密 C 型有极好的机械特性和长的电气寿命，它的安装和接线非常简单。该类型的限位开关有各种各样风格的驱动杆和主体可选，包括一种防爆型可潜水使用的类型，也有标准型、逻辑簧片型和电气簧片触点型等，它有很多其他的特点。

小型封闭簧片开关（XA 型）是一种小型廉价的压铸锌开关，触点机构使用密闭的簧片，预接线以及灌封使得这种开关成为当需要兼顾触点可靠性，不受环境影响，尺寸小，价格低廉情况时的不错选择。

铸造厂和磨坊使用 FT 型，因为这些地方需要满足 T 型（参见图 5-19）的一个或多个特点，而且这些地方落下的热沙子和其他的外来物还可能会堵塞限位开关。

瞬时开关用于需要基本触点机构的地方，这个地方无论有没有操作人员，有没有单独的操作空间。

为特殊应用设计的限位开关，在某些地方更加有效。一旦限位开关的动作机构移动了足以使限位开关动作的距离，那么不管其速度如何，瞬时动作限位开关都会瞬时动作。在机器动作速度慢的时候或者机器运动较短距离时应该使用这种类型的限位开关。图 5-20 给出了一些限位开关的接线图、触点配置以及端子导线颜色代码。

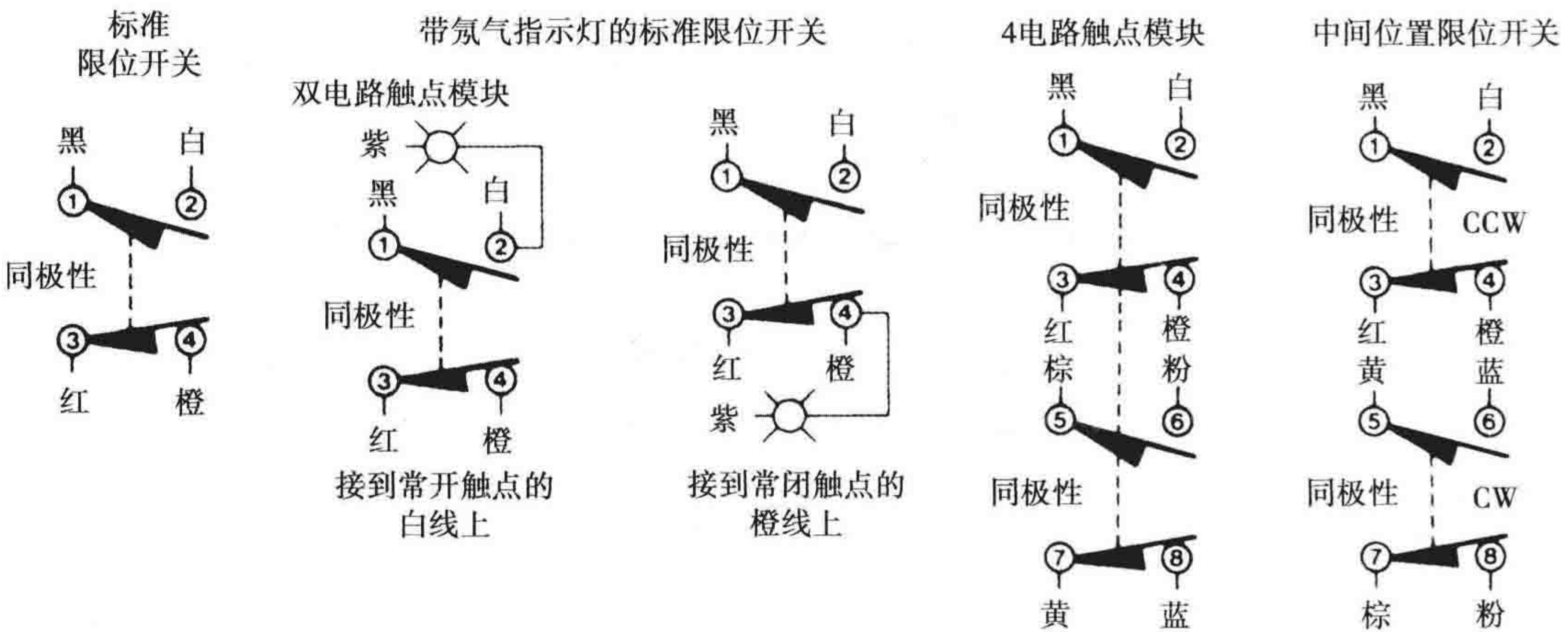


图 5-20 显示触点配置以及端子导线颜色代码的接线图（Allen-Bradley 产品）

重力复位式限位开关适用于体积小、重量轻的运动物体的传送带式作业。它们的工作转矩非常小，通过杠杆臂的重力作用可使触点复位（如图 5-21 所示）。也可以根据限位开关的工作原理进行描述。它们可以是顶推式、弹簧复位式、滚筒式、杆式、侧推式、杠杆式或触点保持式。

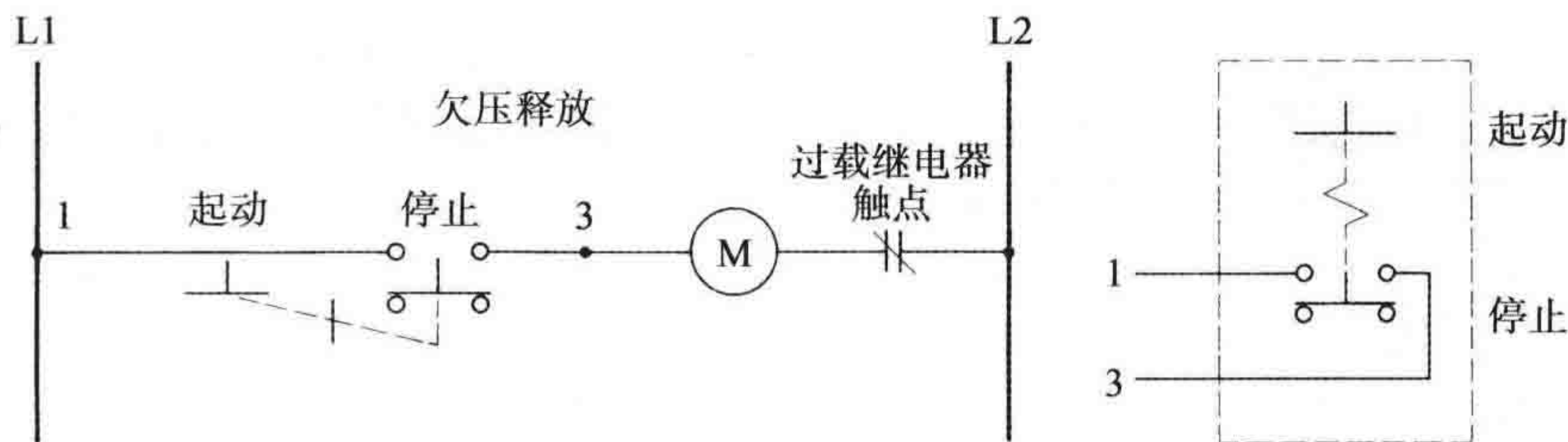


图 5-21 重力复位式开关



5.9.2 限位开关电路

图 5-22 所示为在单一按钮控制台上，具有保持接触配置的限位开关。起动按钮的机械保持触点替代了保持触点（自锁触点）。按下起动按钮后，电路保持接通。按下停止按钮后，打开起动触点，断开电路。如果接触器因为供电故障或者过载而失电，那么起动触点不会受到影响。一旦恢复供电，电动机会自动重起。



起动按钮机械保持触点替代按下触点。按下起动按钮，电路保持接通。按下停止按钮，起动触点打开，断开电路。如果接触器因为供电故障或者过载而失电，那么起动触点不会受到影响。一旦恢复供电，电动机会自动重起

图 5-22 单按钮控制台，保持接触按钮（Allen-Bradley 产品）

5.10 压力开关

对水泵、空气压缩机、电焊机、润滑系统和机床等设备的控制要求其能够响应诸如水、空气或者油等介质的压力。实现这类响应的控制装置就是压力开关。它有一组触点，通过活塞、波纹管或隔膜可以对弹簧进行操作。弹簧压力决定了开关闭合和断开触点时的压力（如图 5-23 所示）。

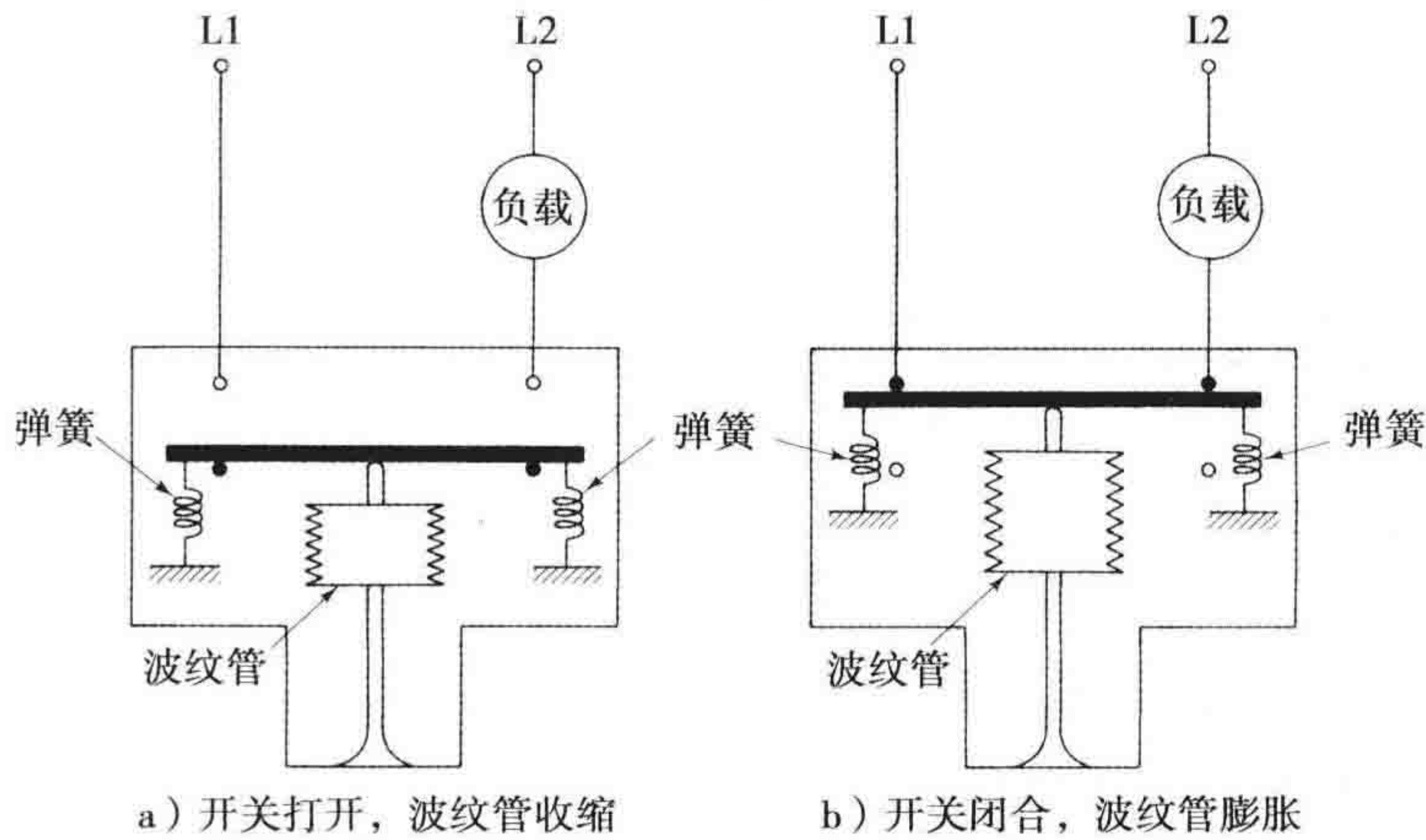


图 5-23 压力开关操作

工业压力开关在气动系统和液压系统中使用非常广泛。在允许的地方，开放型适合面板安装，它们可以用于空气、水或油等任何与执行器材料相容的压力介质中。然而，由于缺乏密封润滑，所以在干燥气体介质中使用活塞驱动装置将会减少其密封的使用寿命。

压力控制装置精确、坚固耐用、结构紧凑，适用于各种压力应用场合。这种控制装置具有一个带银质触点的瞬时精密开关，其接触点受力一直维持在一个较高的值，直到瞬时动作结束，这避免了死点情形。通常的工业振动对触点的正常开闭影响不大。无论控制器按照何



种角度进行安装，严格同轴且相对无摩擦的结构能够提供准确而连续的操作。

寿命较长的铜合金波纹管适用于压力范围在 30inHg<sup>⊖</sup>至 900psi<sup>⊖</sup>（磅 / 平方英寸）的空气、水、油、无腐蚀性的液体、蒸汽或气体中。不锈钢波纹管可用于压力高达 375psi 的许多腐蚀性更强的液体或气体中。

活塞型控制器只能用于油中，不能用于空气或气体、水或其他会使铁生锈的液体中。所有的活塞都配置有排水管，并且还应连接到回油管，经蓄水池排放到大气中。因为隔膜组件的背压可能会改变设置，并能迫使液体流入外壳，所以不能让排水管堵塞。在泄漏有限的条件下，带密封环的控制器基本上不需要回油管。基于磷酸酯的液压剂需要使用特殊的隔膜组件。图 5-24 所示为各种类型压力开关的符号。

符号		描述
压力控制器	温度控制器	
自动操作		
		单刀双掷，当压力 / 温度上升或下降时，触点会自动断开或闭合
		单刀双掷——缓动触点，无快动作。压力 / 温度上升时触点闭合，压力 / 温度下降时触点闭合，触点闭合期间电路是断开的
		单刀单掷，常开——压力 / 温度上升时触点闭合
		单刀单掷，常闭——压力 / 温度上升时触点断开
		单刀单掷，常开——压力 / 温度上升时触点闭合
		单刀单掷，常闭——压力 / 温度上升时触点断开
		双回路，单刀单掷，常开——一个公共端与两个分开的触点连接，压力 / 温度上升时触点断开
		双回路，单刀单掷，常开——一个公共端与两个分开的触点连接，压力 / 温度上升时触点断开
手动复位		
		单刀单掷，常开——根据预先设定，压力 / 温度下降时触点断开，触点维持断开直到系统恢复正常运行状态，此时触点可手动复位
		单刀单掷，常闭——压力 / 温度上升时触点断开，触点保持断开，直到系统恢复正常运行状态，此时触点可手动复位
		单刀双掷，一个触点是常闭的——压力 / 温度上升时触点断开，并保持断开，直到系统恢复到正常运行状态，此时触点可手动复位。当第一个触点断开时第二个触点闭合
		单刀单掷，常闭——压力 / 温度下降时触点闭合，并保持闭合，直到系统恢复到一个更高的预定设置

图 5-24 自动操作和手动复位时压力控制开关符号（Allen-Bradley 产品）

⊖ 1 inHg=3386.39 Pa。——编辑注

⊖ 1 psi=6.895×10<sup>3</sup> Pa。——编辑注



5.11 按钮开关

按钮开关用在控制台里控制电动机的操作。图 5-25 显示了配备有 2、3、6 个开关的按钮台，它们可以控制电动机的起动、停止、正转、反转，以及复位与测试，或者上下运动。按钮台可用于电磁起动器的控制电路中。在要求体积小性能可靠的很多应用中它们都很有用。组装式的控制台可以由按钮、选择开关、指示灯或专用设备任意组合而成。



图 5-25 按钮控制台 (Allen-Bradley 产品)

使用按钮可以用多种方式来控制电动机和生产过程，例如，起停控制、正反转控制、双速控制、点动控制、温控器控制电动机以及带按下测试指示灯的接地检测。图 5-26 所示为一组带总停按钮的单控制台。注意，观察梯形图或线路图与接线图中开关的区别，正常工作时接线图上的数字在电路中是如何连接的。该电路有瞬时接触总停按钮，它与一组并联电路串联。按下总停按钮后，所有电路都将失电。

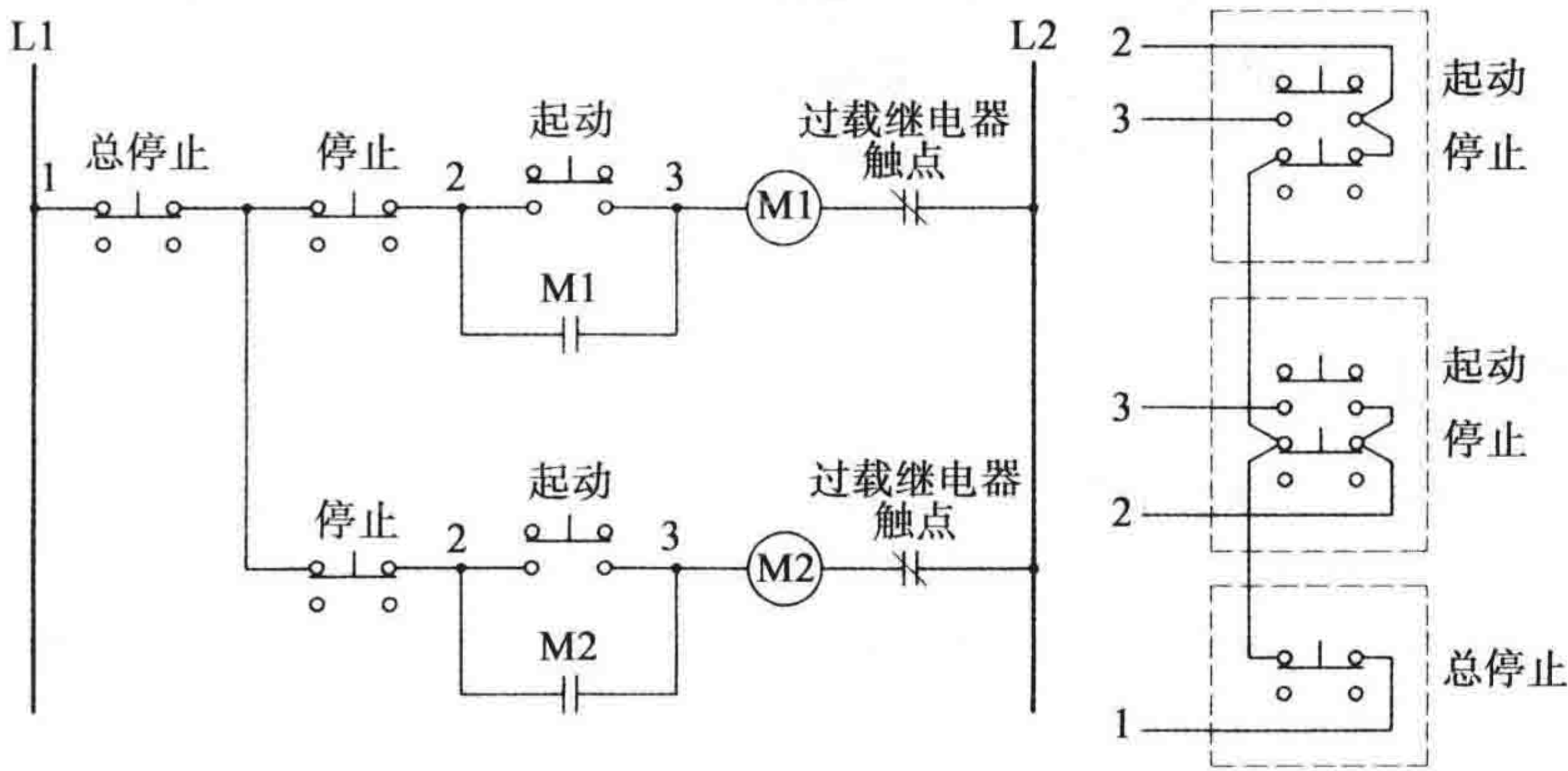


图 5-26 一组带总停按钮的单控制台 (Allen-Bradley 产品)

图 5-26 所示为基本的起停电路。两线控制或欠电压释放电路在这里不适用，因为总停按钮一旦释放，它们都将重新通电。

5.12 安全开关

安全开关可直接跨线安装以起动电动机 (如图 5-27 所示)。这种类型的开关是手动操作开关，而且通常在外壳上有操作闸刀的手柄。开关外壳由不锈钢或玻璃纤维增强聚酯特别制成，可以承受工业应用场合中几乎所有腐

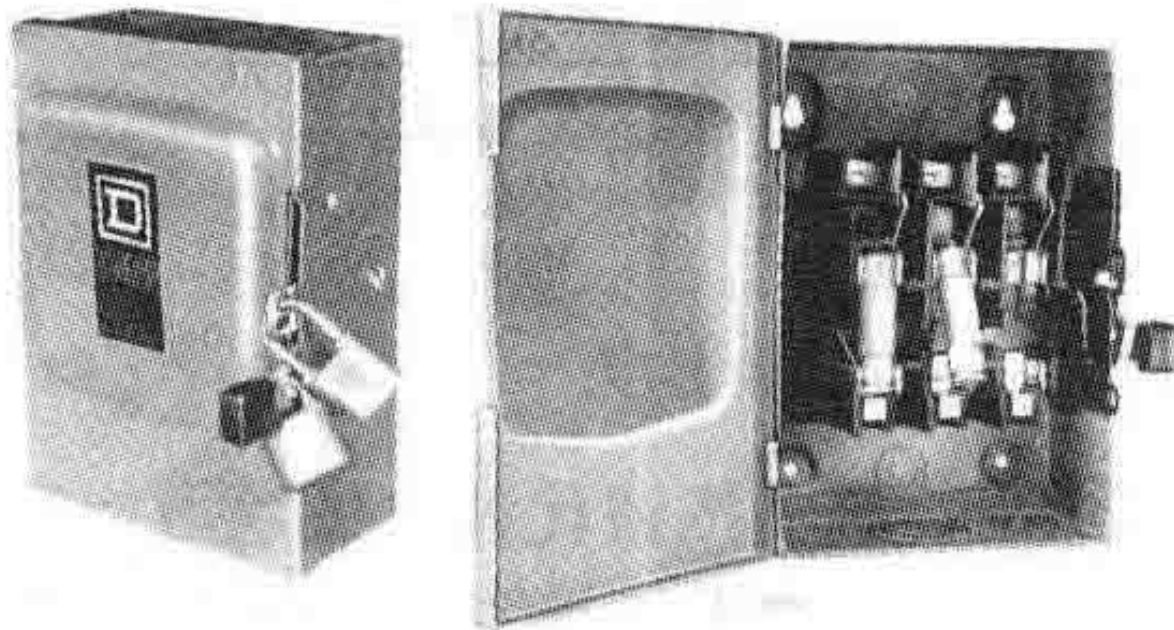


图 5-27 安全开关 (Square D 产品)



蚀性气体的损害。出于安全考虑，可以使用电气互锁。在主闸刀断开之前，由开关机构操作的一个旋转臂会断开控制电路。在外壳里面通常安装缓动式熔断器来处理由电动机起动造成的冲击电流。

使用手动转换开关可以从一个电源向另一个电源转移负载，它们是不可熔断的。其电流额定值介于 30~600A 之间。当然，具有更大电流的四极开关其价格远远超过 5000 美元。

5.13 选择开关

使用选择开关可决定电动机的旋转方向、起停控制和点动控制。有二位置、三位置或四位置的配置可选。图 5-28 显示了开关和触点的布局。选择开关的操作器可以是杠杆、线圈、插槽、把手或者钥匙。它们也可以通过瞬时接触来实现，这在测试电路的时候是很有必要的。

5.14 单刀开关

单刀开关是简单的通断类型开关。它们有数千种形状和样式，可以作为小型电动机的简单通断开关。也可以使用由特殊材料制造的开关触点作为大型电动机的控制器。很多按钮开关都是单掷的。它们使用两个触点，如图 5-29 所示。

5.15 起停开关

起停开关有很多种不同的形状，可以用在不同的控制用途中。用于起动和停止电动机的开关主要关注的是它的额定电流，也就是其是否能够处理冲击电流。在图 5-30 所示的电路中，起动按钮代替了保持触点。按下起动按钮，电路将保持接通。按下停止按钮，将打开起动触点以断开电路。如果接触器因为供电故障或者过载而断电，起动触点不受影响。电动机会自动重新起动。注意观察保持接触开关的符号。

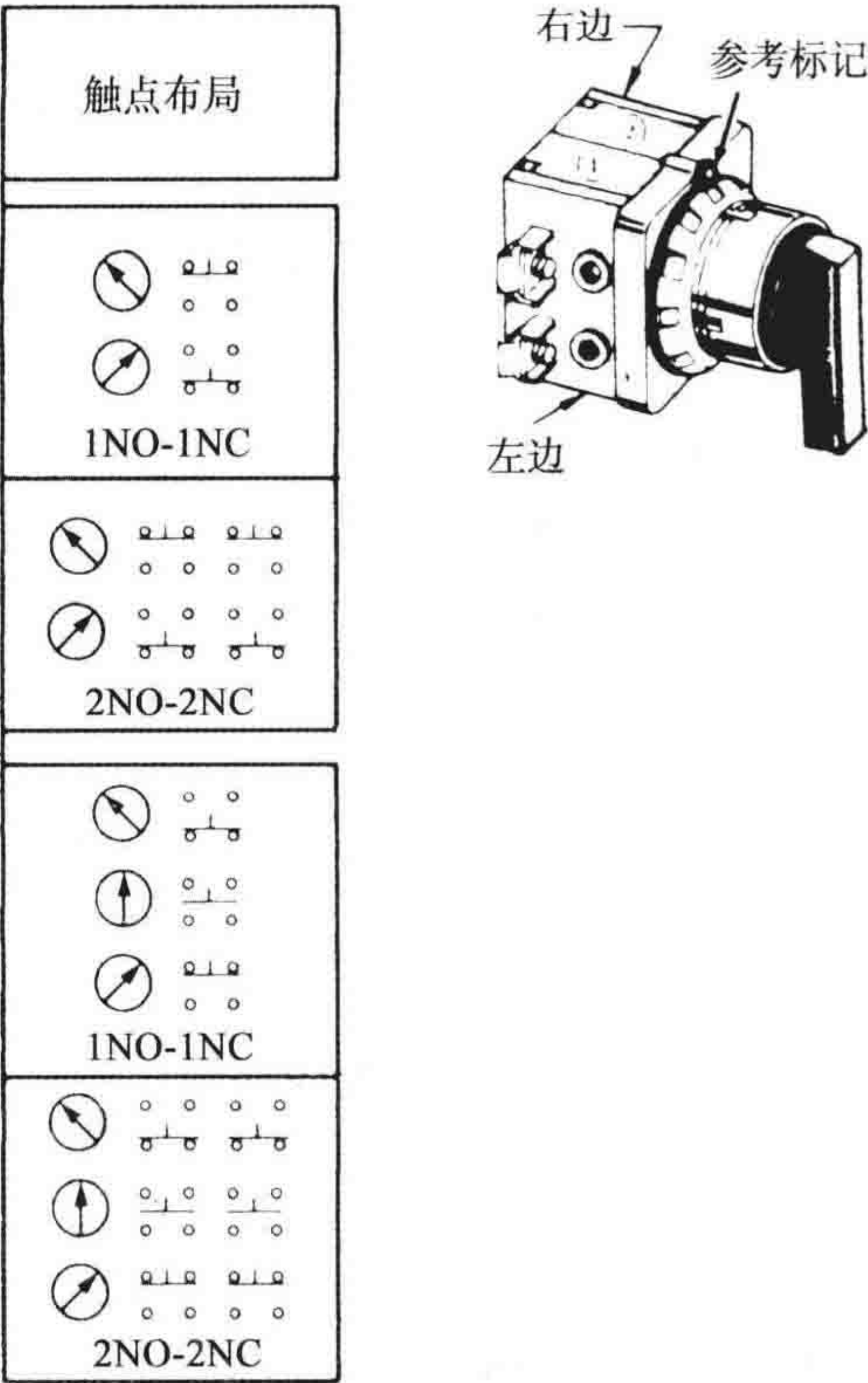


图 5-28 选择开关（Reliance 产品）

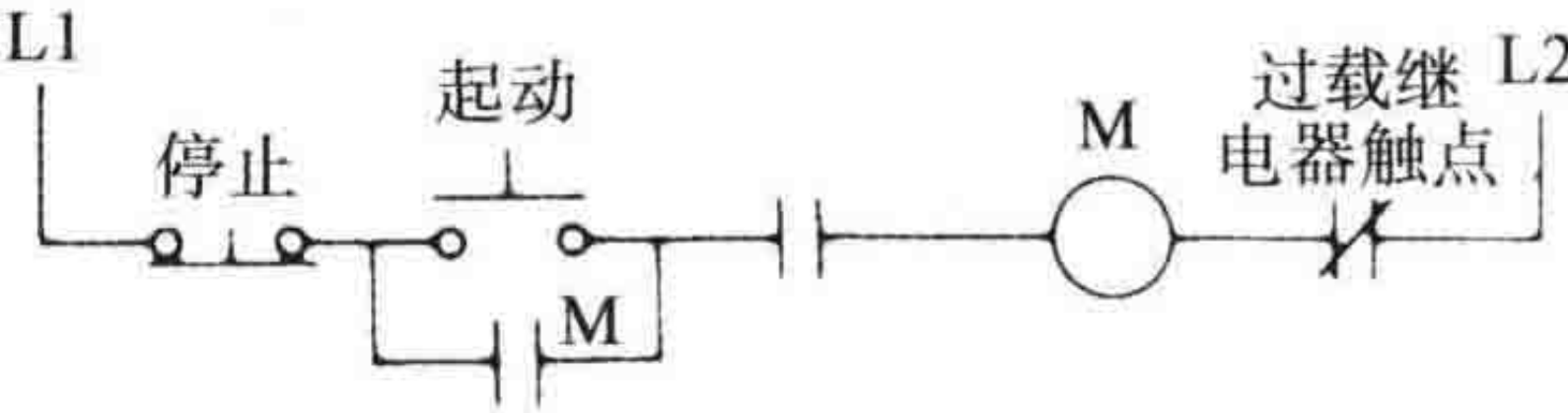


图 5-29 单刀开关电路（Allen-Bradley 产品）

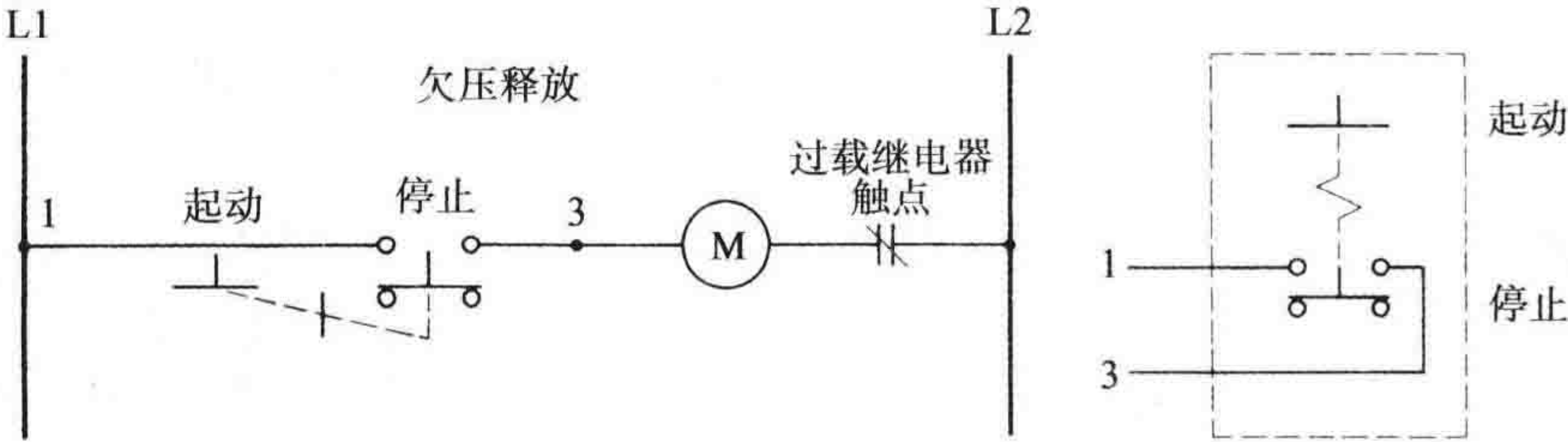


图 5-30 带保持触点的起动按钮（Allen-Bradley 产品）



5.16 温度开关

温度控制开关通常称为温控器。图 5-31 显示了高温保险装置是如何接在电路中的，注意温控器的位置。这个特殊电路有欠电压释放，能通过选择开关将电路从带温控器的自动控制变为将温控器切除后的电路，或者将选择开关放在没有触点的中间位置使电路断电。

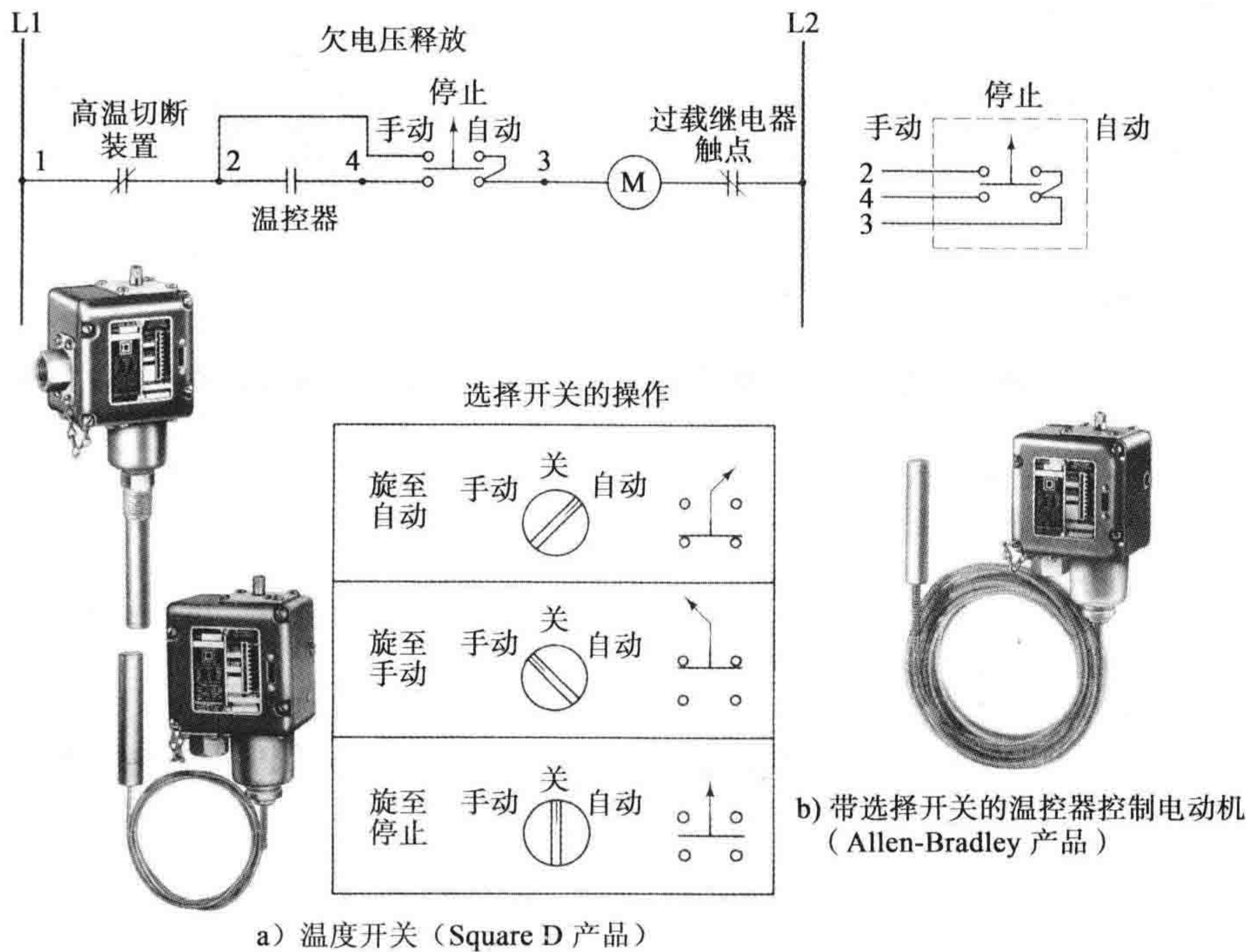


图 5-31 带温度开关的电路

5.17 拨动开关

拨动开关有很多尺寸和形状，用于特殊用途，也可用于电动机的控制电路（如图 5-32 所示）。它们可以开启和关闭各种装置，或者从一个装置切换到另外一个装置。它们通常有一个通过圆孔安装的金属拨柄。它们通常用螺旋式接线柱接线，然而，有些拨动开关可能仅提供一些引线。使用拨动开关的一个范例就是在家里，把它安装墙上用来控制顶灯的开与关。

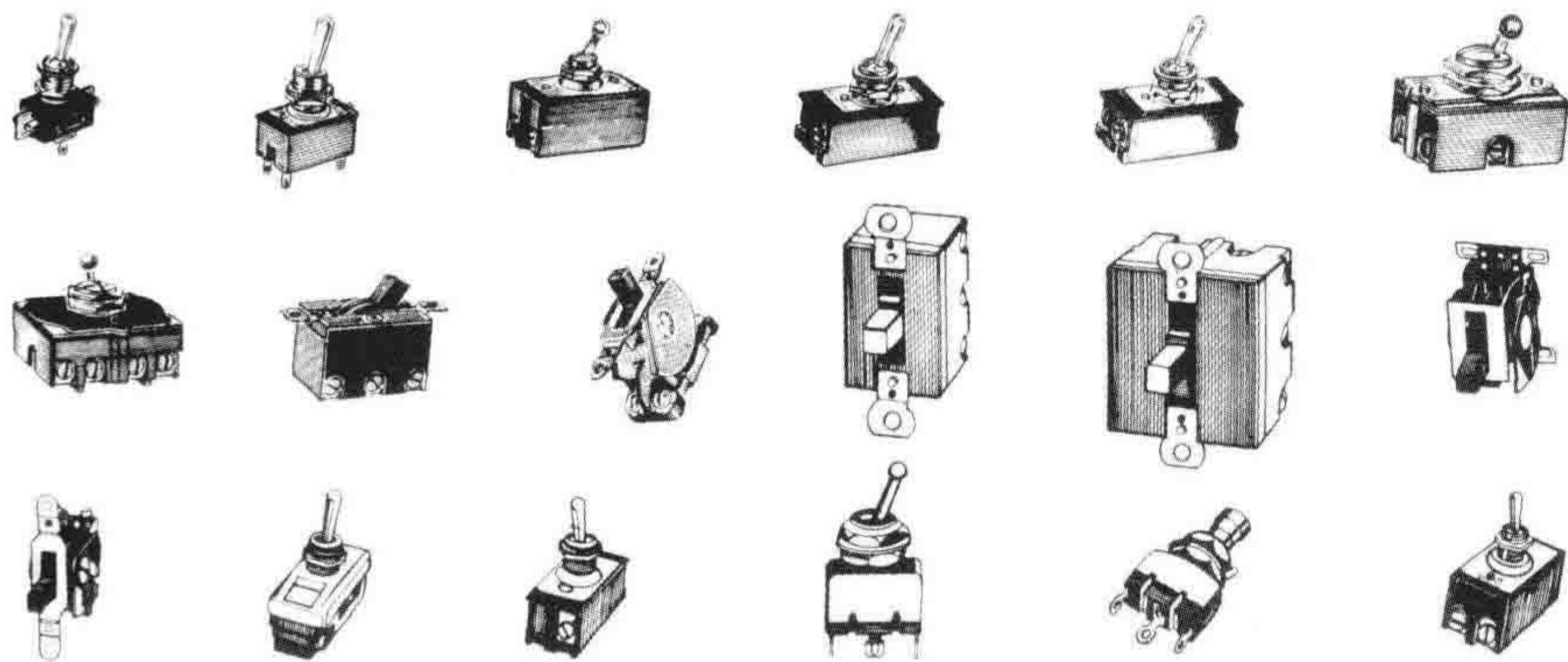


图 5-32 拨动开关



5.18 晶体管开关

晶体管的用途之一就是开关。作为开关来说，它是一个非常有效的装置。晶体管的另一个用途就是放大，这些用途将在第 7 章中讨论。

5.19 真空开关

图 5-33 所示类型的开关借助于真空压力保证其正常工作。它们可能有常开和常闭的双掷触点，可以控制电动机的正反转操作。

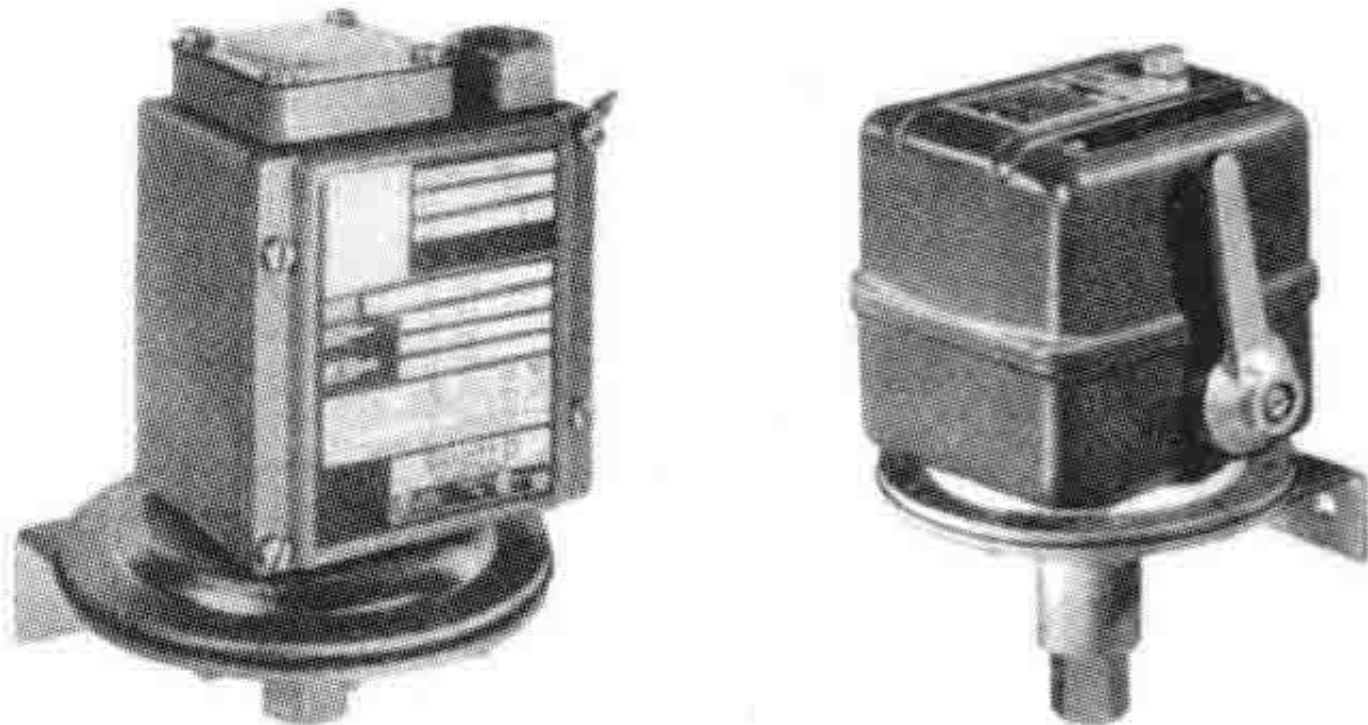


图 5-33 真空开关 (Square D 产品)

5.20 思考题

1. 鼓形开关是怎样由保持接触转换到瞬时动作的?

2. 鼓形开关的另一个名字叫什么?

3. 直流电动机用什么抑制电刷电弧?

4. 怎样使用浮动开关?

5. 报警系统中的浮动开关是怎样使用的?

6. 操纵杆是什么? 它是怎么使用的?

7. 互锁开关有什么作用?

8. 起动器上面的常闭辅助触点有什么作用?

9. 限位开关怎么使用? 列出 5 种类型的限位开关。

10. 有哪两种压力开关?

11. 在哪些地方可以使用按钮开关?
12. 安全开关是怎样集成到各种设备上的?

13. 选择开关用在哪些地方?

14. 电动机控制线路中的拨动开关是怎样使用的?

15. 电动机控制线路中的真空开关是怎样使用的?

16. 电动机控制中使用最频繁的开关是什么?

17. 鼓形开关可以用于三相电动机的正反转控制吗?

18. 哪种开关使用不锈钢浮子?

19. 自动喷水灭火系统中用哪种类型的开关指示水流?

20. 如何检测堵塞的空气过滤器?

5.21 练习题

开关是电气控制中最常用的方式之一。在很多时候，能够接通或者断开电路对任何电工来说都是至关重要的。牢牢掌握与开关相关的电路能够提升你理解电路操作和看清开关操作的能力。

1. 在图 P-1 上画线，完成开关端子间的接线，以使三相电动机可以正转。

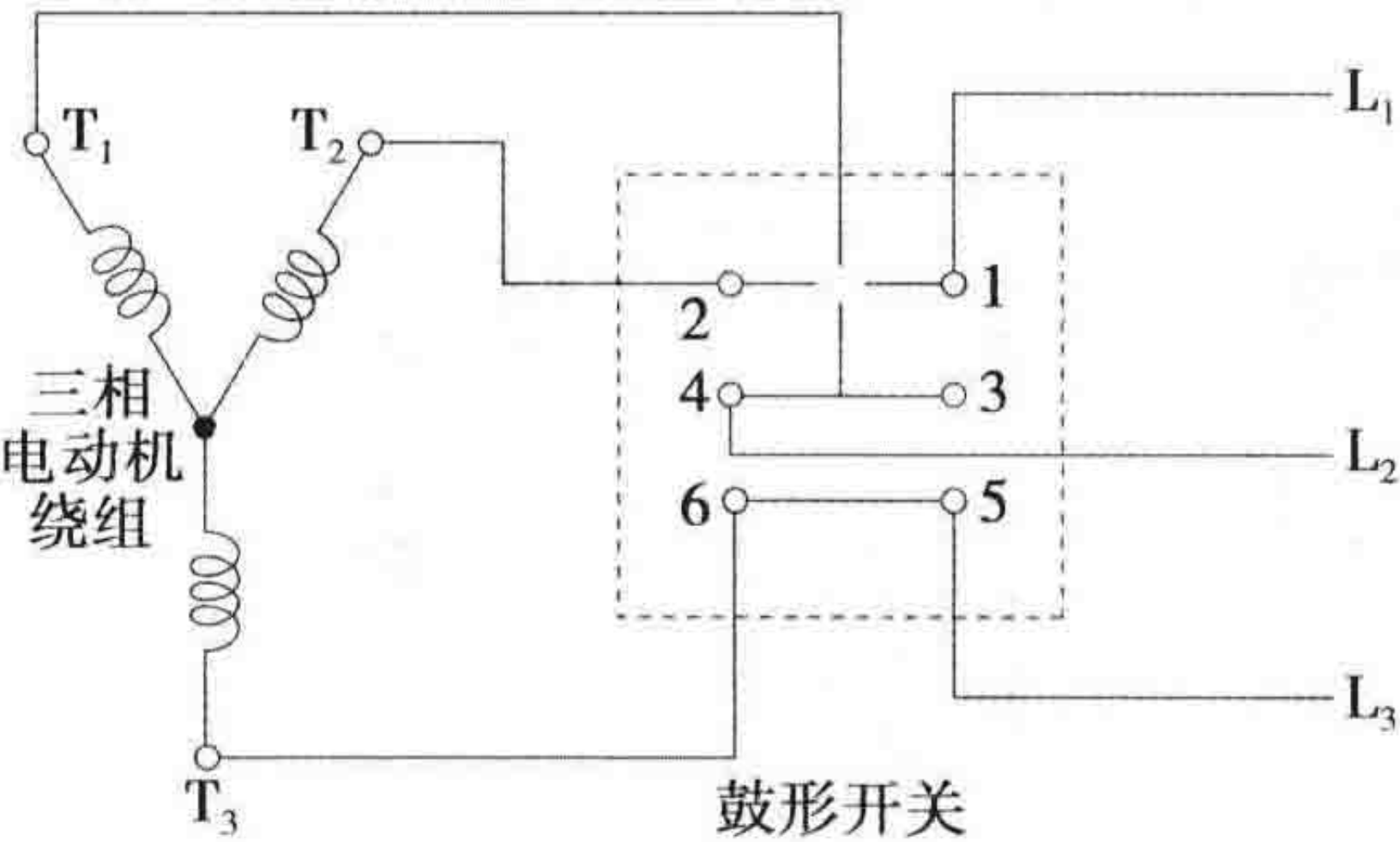


图 P-1

2. 在图 P-2 上画线，完成开关端子间的接线，以使三相电动机可以反转。

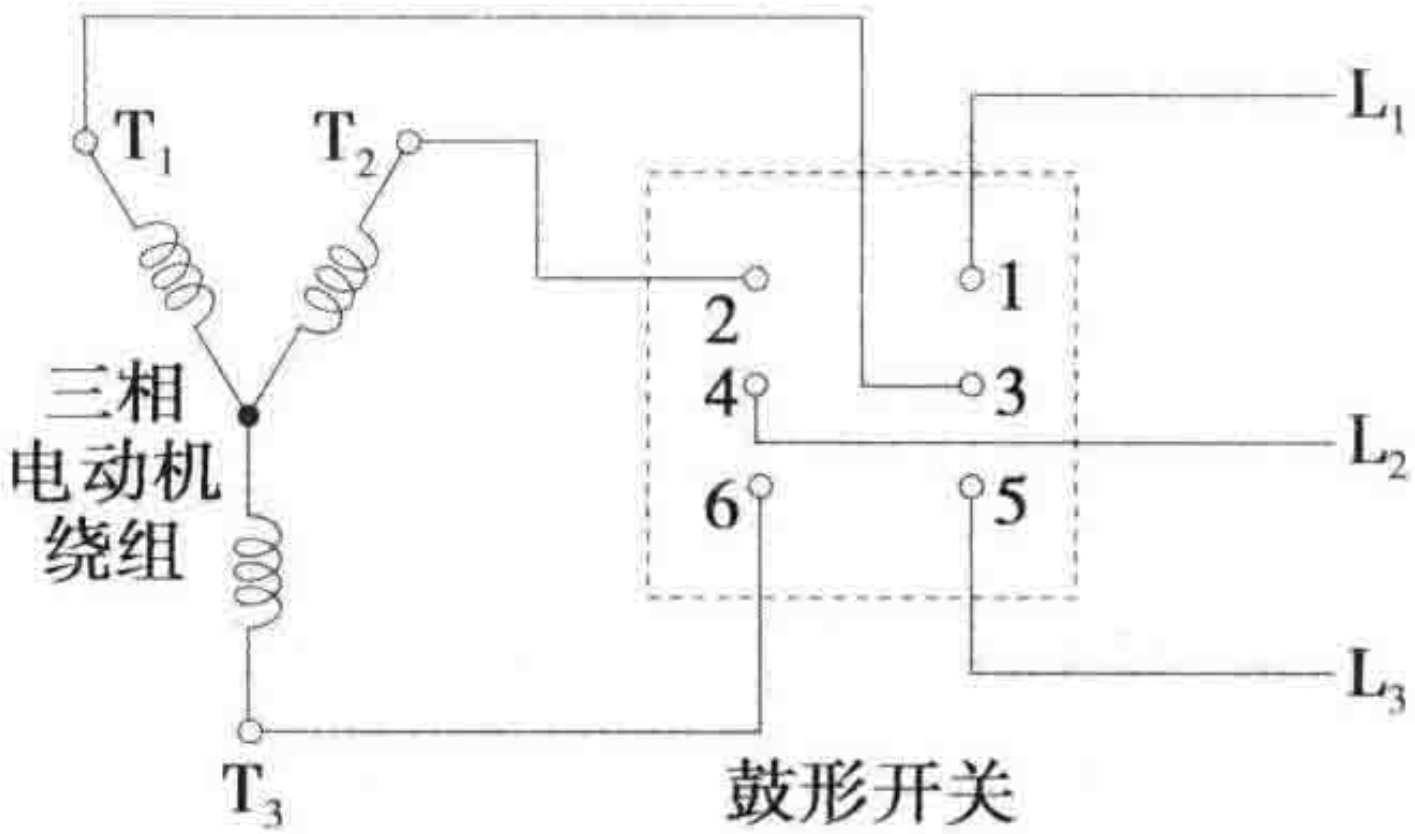


图 P-2

3. 在图 P-3 上画线，完成开关端子间的接线，使并励电动机可以正转。

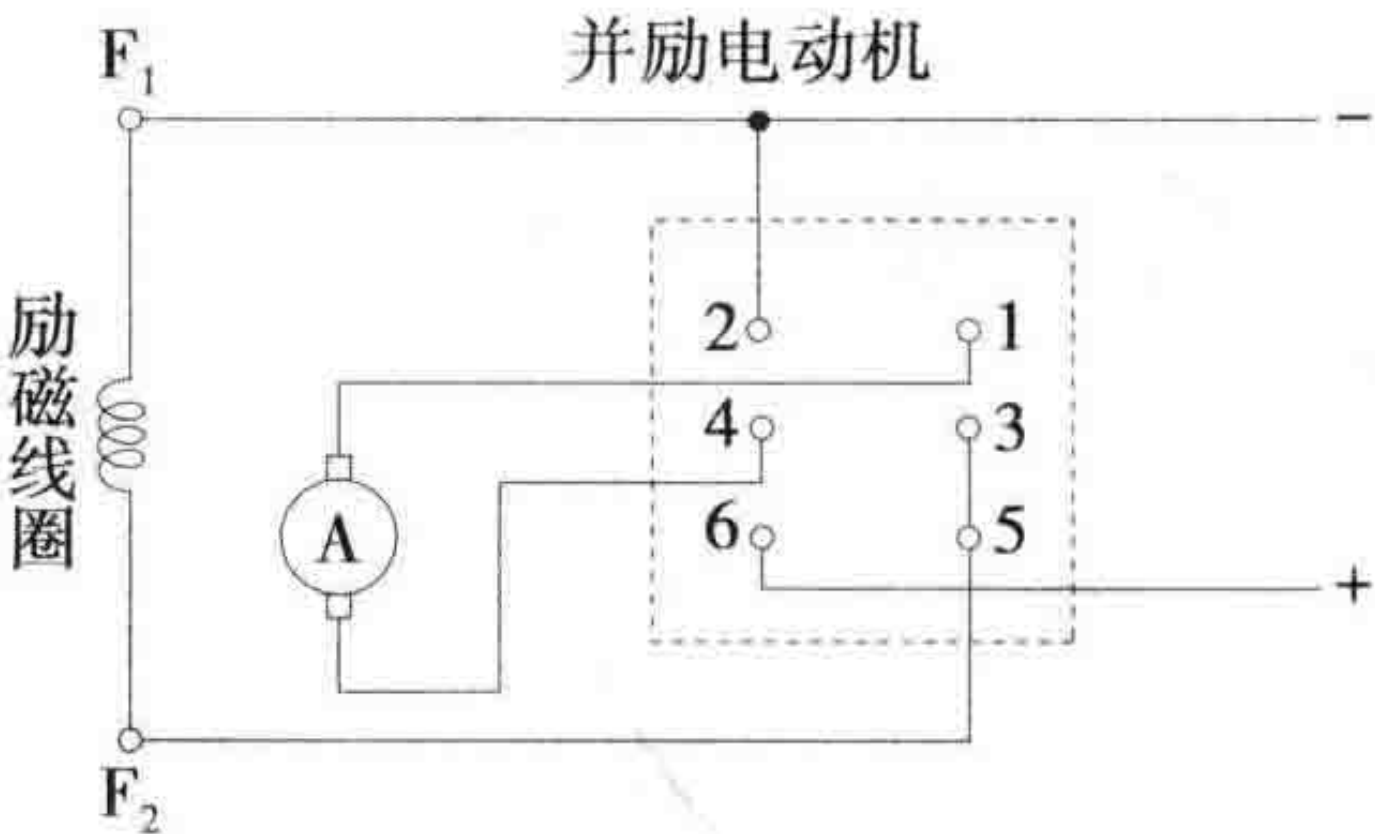


图 P-3



4. 在图 P-4 上画线，完成开关端子间的接线，使串励电动机可以反转。

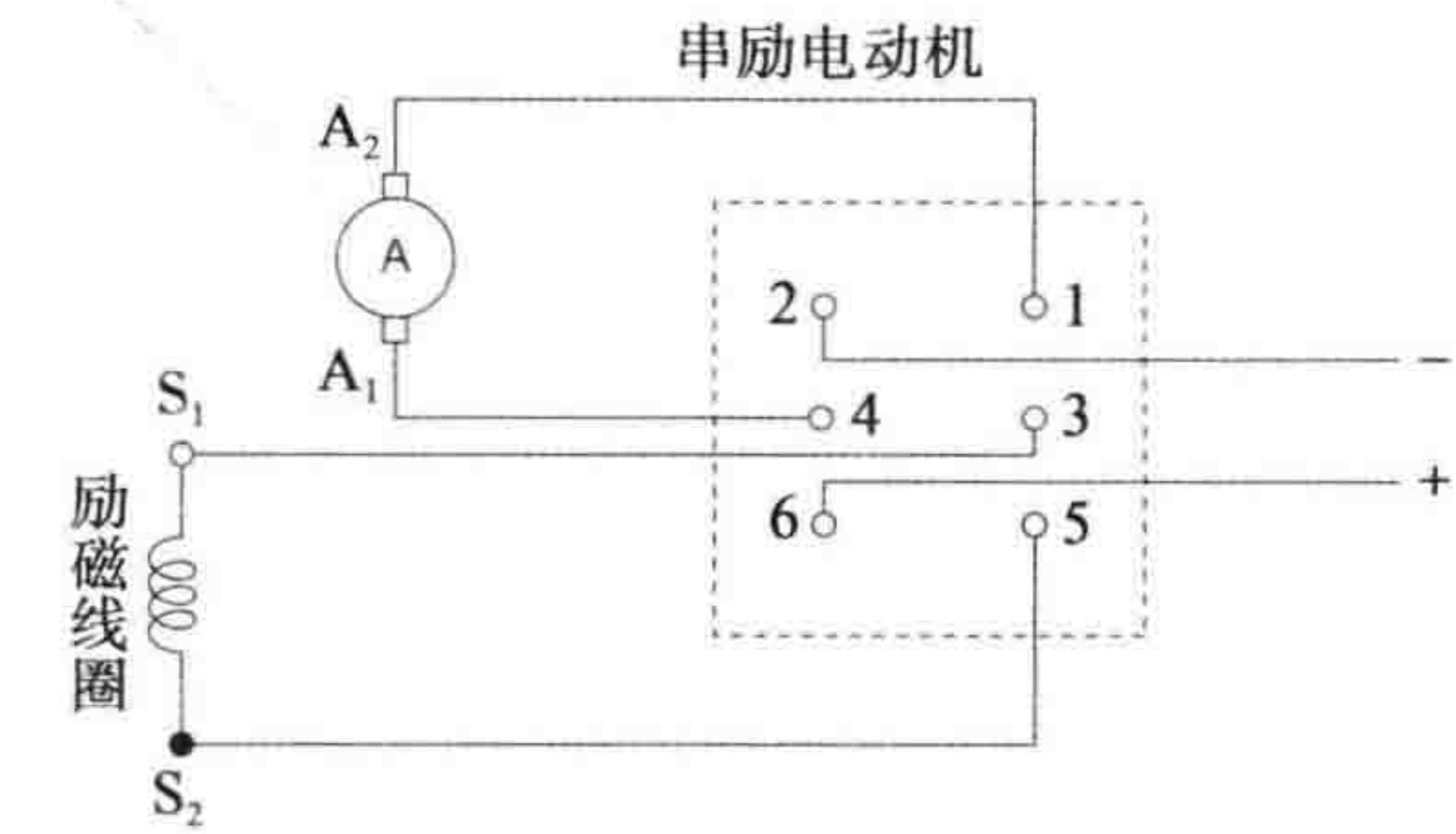


图 P-4

5. 在图 P-5 上画线，完成开关端子间的接线，使复励电动机可以正转。

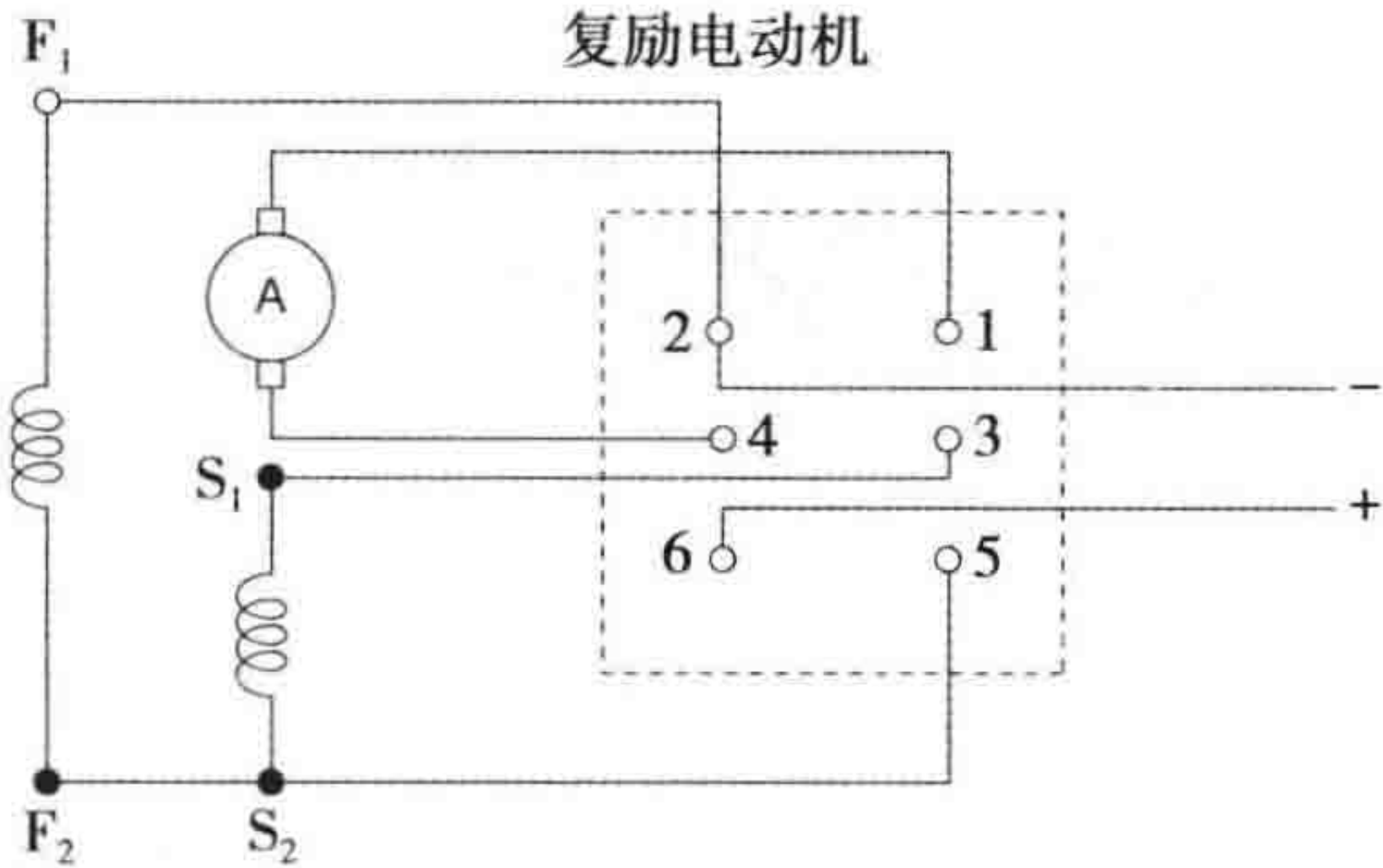


图 P-5

6. 在图 P-6 上添加开关，完成控制灯亮的电路。

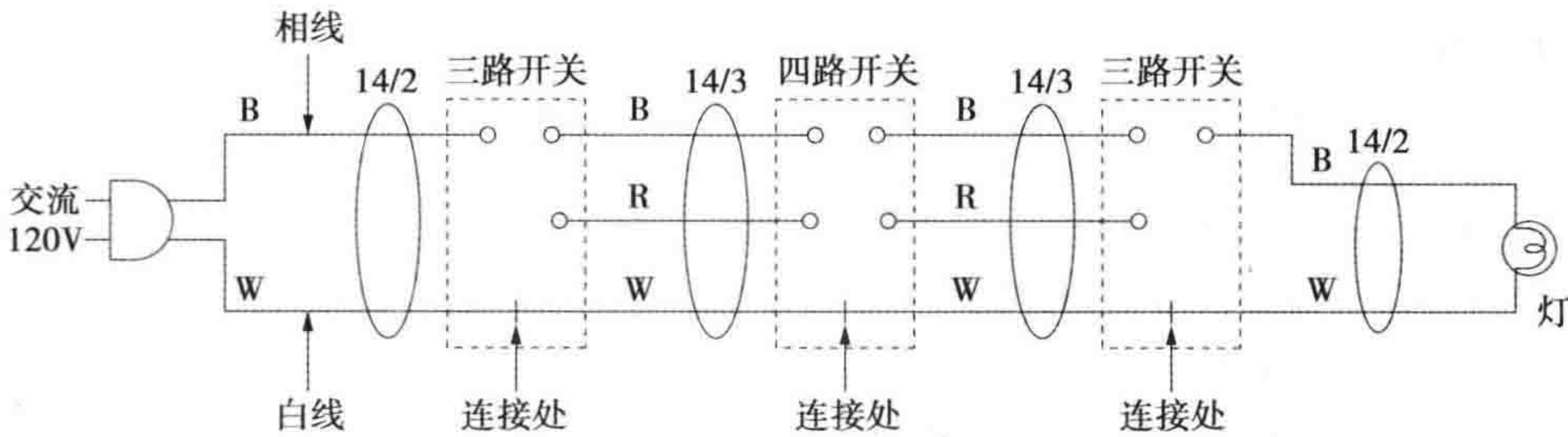


图 P-6



# 第 6 章

## 磁性与螺线管

### 6.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

- 1. 知道磁性是怎样被发现并得到利用的。
- 2. 描述螺线管。
- 3. 解释电磁阀的使用和操作原理。
- 4. 解释气隙和衔铁对螺线管操作的重要性。
- 5. 说明螺线管中短路环的作用。
- 6. 通过维持电流额定值识别线圈。
- 7. 区别吸合电压和维持电压。
- 8. 区别吸合电压和释放电压。
- 9. 解释电磁器件中噪声产生的原因。
- 10. 识别与电磁线圈装置相关的各种问题及其产生原因。

人类对磁场作用的发现要早于静电。约公元前 2600 年人们就发现了磁现象。有人说是中国人首先发现的，另一些人则认为是希腊人第一个发现的。还有一点疑问，原始人类虽然也注意到了其影响，但缺乏使用它的知识。某些重石头或岩石可以吸引和举起相似的石头和铁块。这些石头中的物质被称为铁矿石，它是由希腊人以小亚细亚地区的马格尼西亚（Magnesia）省的名字命名的，那里发现过一些这种石头，其属性后来称为磁性。磁性是铁矿石的一种属性（如图 6-1 所示）。

中国人是最早记录观察到磁矿石及其属性的。他们把铁矿石挂在绳子上，看着它慢慢排成一列，它一端指向北，另一端指向南。后来磁罗盘的发展就是基于此。因为这种石头能够给旅行的人们指路，所以其称为指路石（后来改为天然磁石）。

很多年过去了，磁领域一直没有发展，直到英国女王伊丽莎白一世时期，一名叫威廉·吉尔伯特的物理学家开始研究天然磁石的秘密，并形成了磁的基本原理。他还做了有关静电的实验，并使用了“电子”这个词。同时期还有很多人也在研究天然磁石的性能。很多人为这个领域增添了知识，其中某些人的名字被用于命名电和磁的计量单位。这些先驱者包括亚历桑德罗·伏特、查尔斯·奥古斯丁·库仑、安德烈·玛丽·安培、汉斯·克里斯蒂安·奥斯特和乔治·西蒙·欧姆等。

本杰明·富兰克林因在雷电交加的天气放带有金属物体的风筝，在当时的美国引起了对

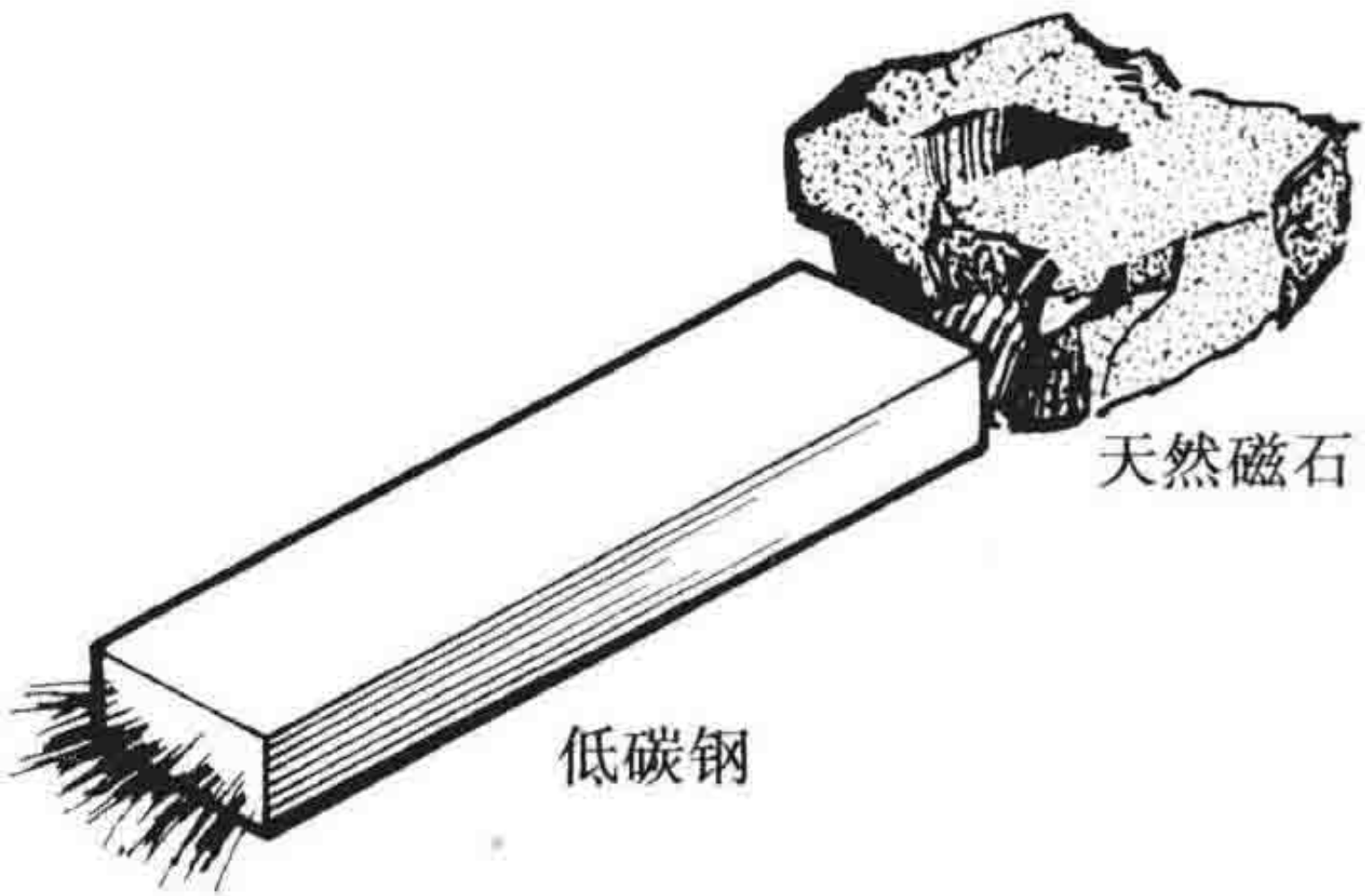


图 6-1 天然磁石是没有任何形状的磁体，但 S-N 极对齐



电的关注。大约 80 年后，英国的迈克尔·法拉第和美国的约瑟夫·亨利分别发现了磁和电子流之间的关系。这一发现成为电和电子领域最重要的贡献之一。

在建立了电和磁的关系后，该领域的发展相当迅速。托马斯·爱迪生在电动机和电灯方面做了很多工作，并发明了可以产生电能的发电机。变压器的问世引领了新时代的发展。

## 6.2 螺线管

在电力及其传输的发展中诞生的一个装置是螺线管。螺线管就是指载流的线圈，一旦电流流过，螺线管就会变成一个电磁铁。在螺线管中，铁心移动，以闭合最多的磁力线，每条磁力线的路径都尽可能最短。在图 6-2 中，铁心在线圈外面。因为铁心是由铁磁材料制成的，所以它为线圈的 N 极磁力线提供了一条低磁阻的路径。这些磁力线集中于软铁心（螺线管内部），然后回到电磁铁的 S 极。

可移动的铁心趋向于被拉进螺线管的中心。磁力线通过铁心材料使铁心磁化。磁力线的方向可使在电磁铁的 N 极端的铁心产生 S 极。磁力线离开铁心的另一端，这一端就是磁化铁心的 N 极。

线圈的 N 极和铁心的 S 极间的吸引力趋向于将铁心拉进线圈。磁力线呈扇形从磁化铁心的 N 极向外发出，它们通过较短的磁路回到线圈的 S 极端。随着铁心被拉进线圈，磁路变得越来越短。当铁心本身进入到线圈中心时，磁力线所通过的路径最短。这种铁心被拉进线圈的动作可以闭合开关触点或者是打开控制空气、气体、液压流体或其他流动介质的阀门。

### 6.2.1 电磁阀

用在许多制冷系统中的电磁阀是由电来操作控制的。图 6-3 所示为一个电磁阀的连接，当有电流流过时，电磁阀保持打开；当没有电流流过时，它将关闭。一般而言，电磁阀可以控制液态制冷剂流入膨胀阀，或者当蒸发器或蒸发器所控制的装置达到设定温度时，控制蒸发器中制冷剂气体的流出。

在液体管线中电磁阀最常与温控器一起使用。这样，固定在装置中的温控器可以按所需的温度来设定。当达到温度时，温控器断开电路，切断通往电磁阀的电流，继而关闭电磁阀，阻断膨胀阀制冷剂的供应。冷凝装置的操作由一个低压力开关来控制。在蒸发器每天只运行几个小时的地方，可以手动操作一个瞬时开关来打开和关闭电磁阀。

图 6-4 所示的电磁阀以常闭状态进行操作。直接动作的金属球体和阀座能确保其可靠闭合。两线控制 W 类线圈是一类可以在低温或表面冷凝的工作条件下，具有长使用

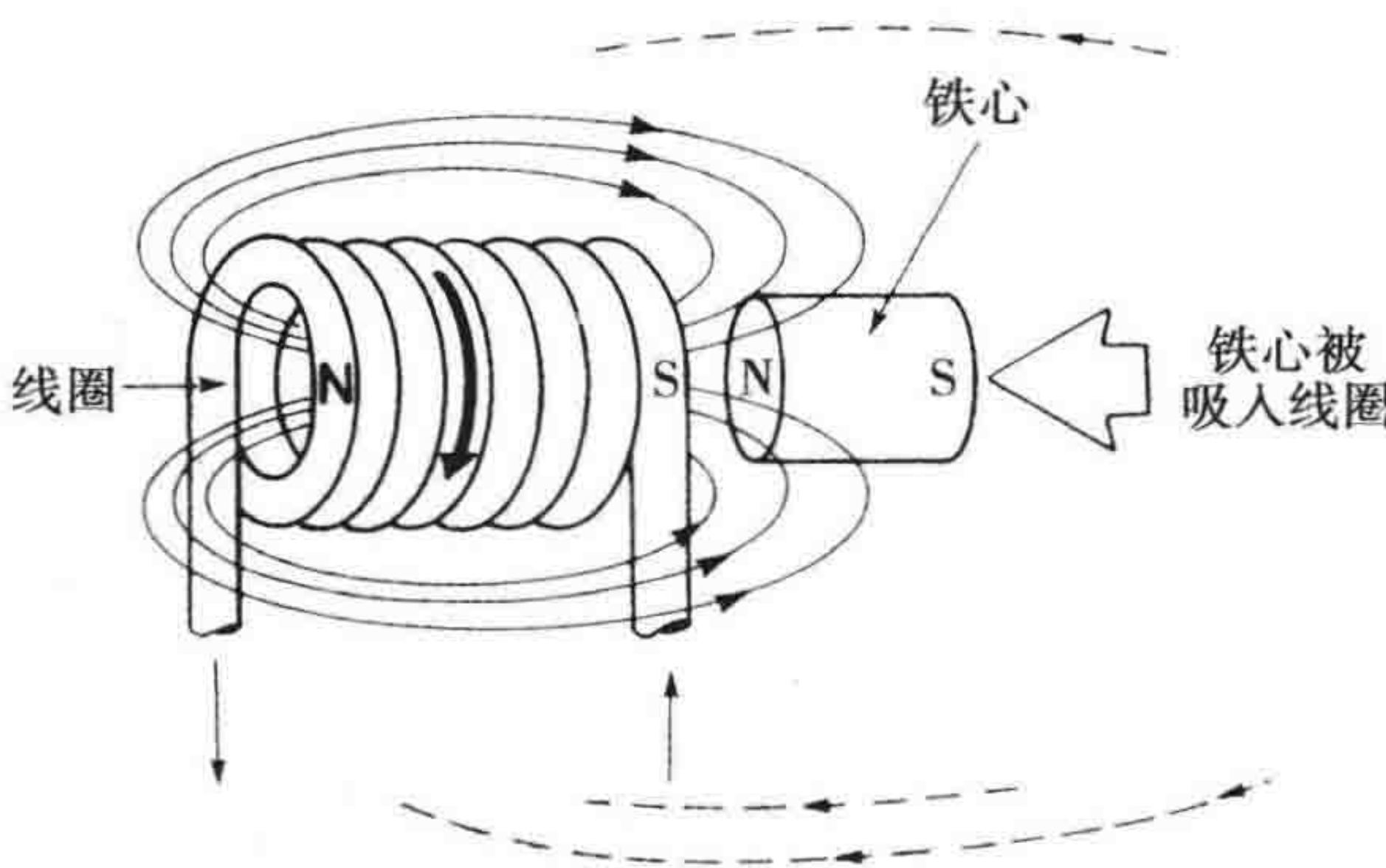


图 6-2 电流流过的线圈有将铁心吸入线圈的趋势

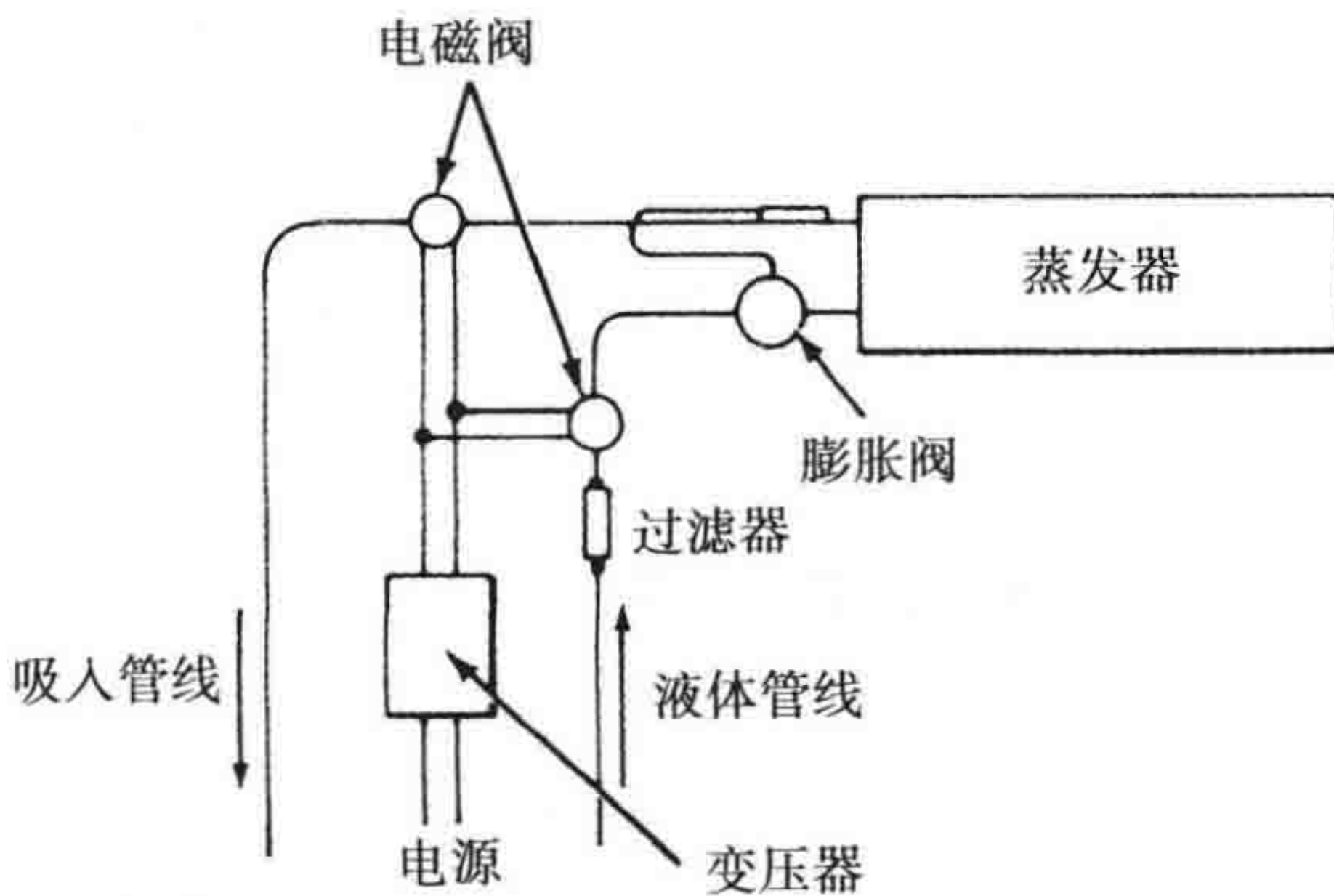


图 6-3 制冷系统被吸入管线和液体蒸发管线中电磁阀的连接



寿命的设备。电流故障或中断将导致阀门处于关闭状态，自动防故障。为了易于安装，电磁阀盖可旋转 360°。在危险区域，可以选用防爆的类型。

**用途** 这种电磁阀可用于除氨以外的所有制冷剂中。它也可以用于空气、油、水、洗涤剂、丁烷或丙烷气以及其他非腐蚀性液体或气体中。很多温度控制装置都可以通过使用这些阀门来实现。这些装置包括迂回支路、除霜、吸入管线、热气供应、湿度控制、乙醇、卸载、逆循环、冷却水、冷却塔、盐水、液体管线停止装置以及制冰机。

**操作** 在活塞组件的重力和阀球顶部的流体压力作用下，阀门处于常闭状态。线圈通电可以打开阀门，电磁力拉起活塞，允许流体流过阀球。线圈失电，活塞和阀球回到常闭状态。

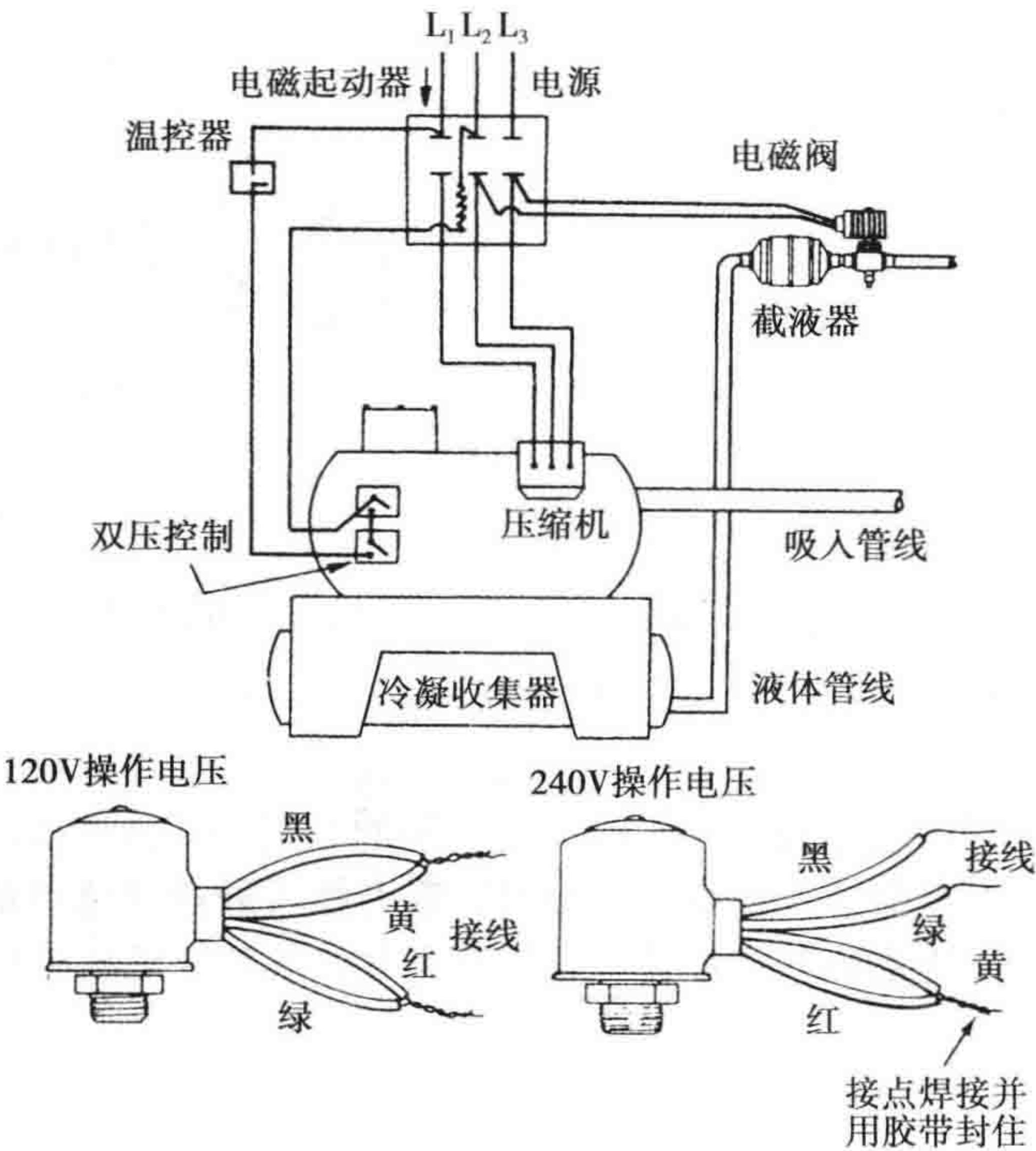


图 6-4 电磁阀的位置以及接线的颜色

6.2.2 全自动燃气炉电磁阀

图 6-5 所示的电磁阀用于控制流入燃气炉内的天然气。当需要加热时，室内温控器打开，接通触点，从电源到电磁阀线圈形成闭合电路。通电的线圈会产生磁场，拉起活塞。这将允许加压的气体流经活塞下部阀体左侧的入口，然后通过右侧的出口。当室内达到设定的温度时，温控器断开电路，活塞降回到阀座上，切断燃气的流动。

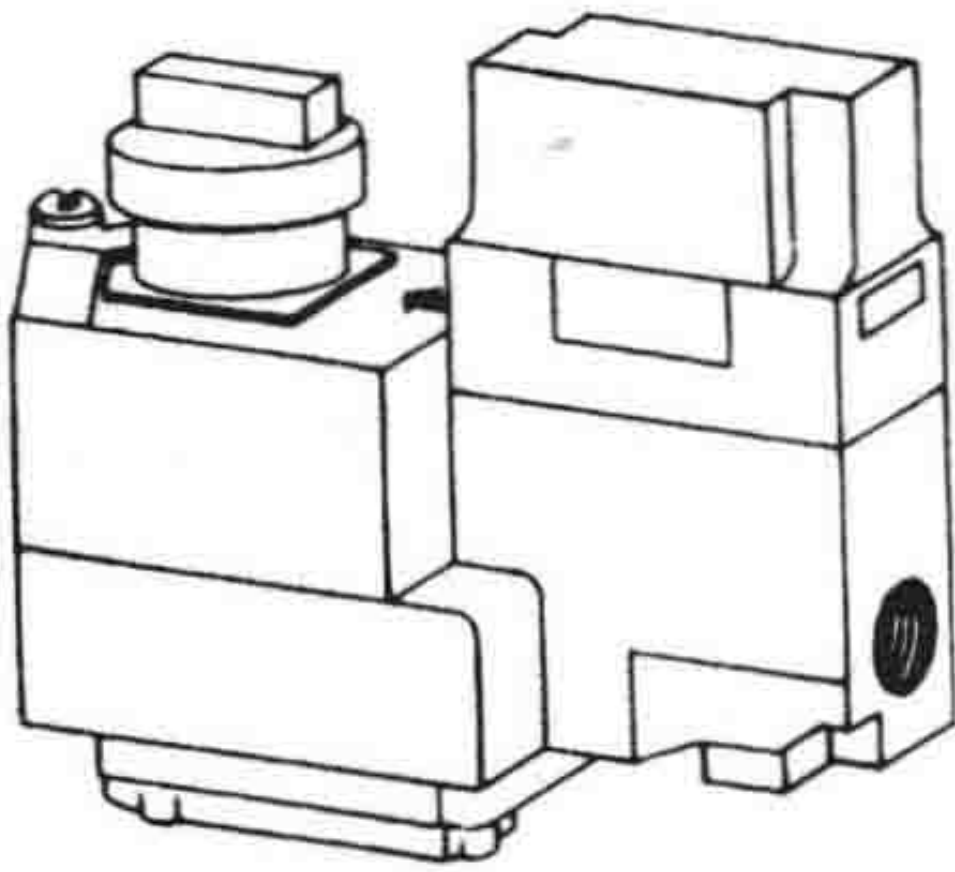


图 6-5 全自动燃气炉控制

6.3 电磁阀的构造

电磁阀的制造值得密切关注，制造商会考虑部件及其相互作用。涡流可以影响螺线管的操作。衔铁间隙和线圈处理电流和电压的能力也是设计者关注的一个部分。它们也是维修人员应该关注的部分，因为这些因素可能迟早在工业和商业中引起螺线管故障，它控制着电动机及其工作过程。



6.3.1 衔铁和铁心中的涡流

交变的磁场靠近铁片时就会产生涡流（见图 6-6）。涡流产生的热量会导致一些问题的发生。在交流螺线管中，铁心和衔铁是由叠钢片制成的，这样能够减少涡流产生的热的堆积。涡流在硅钢片叠层中会大大减小。叠片是一片一片的金属，而不是一整块。直流螺线管由实心铁心制成，因为磁场只有在线圈通电和断电的时候发生变化。

6.3.2 气隙和衔铁

衔铁构成了磁力线的通道。衔铁与螺线管中的其他磁组件相匹配是很重要的。配合得好可以减少设备震颤。表面配合需要精密的公差。然而，当衔铁与其他磁路配合得过于紧密时，也会出现问题。由于剩磁现象的存在，所以当线圈没有电流流过时，剩磁不会消失，因此，即使电源断开后，剩磁依旧能牢牢吸住衔铁。这就是为什么会在铁心磁路上留有很小的气隙。当线圈断电后，会使磁场断开，衔铁下落（如图 6-7 所示）。

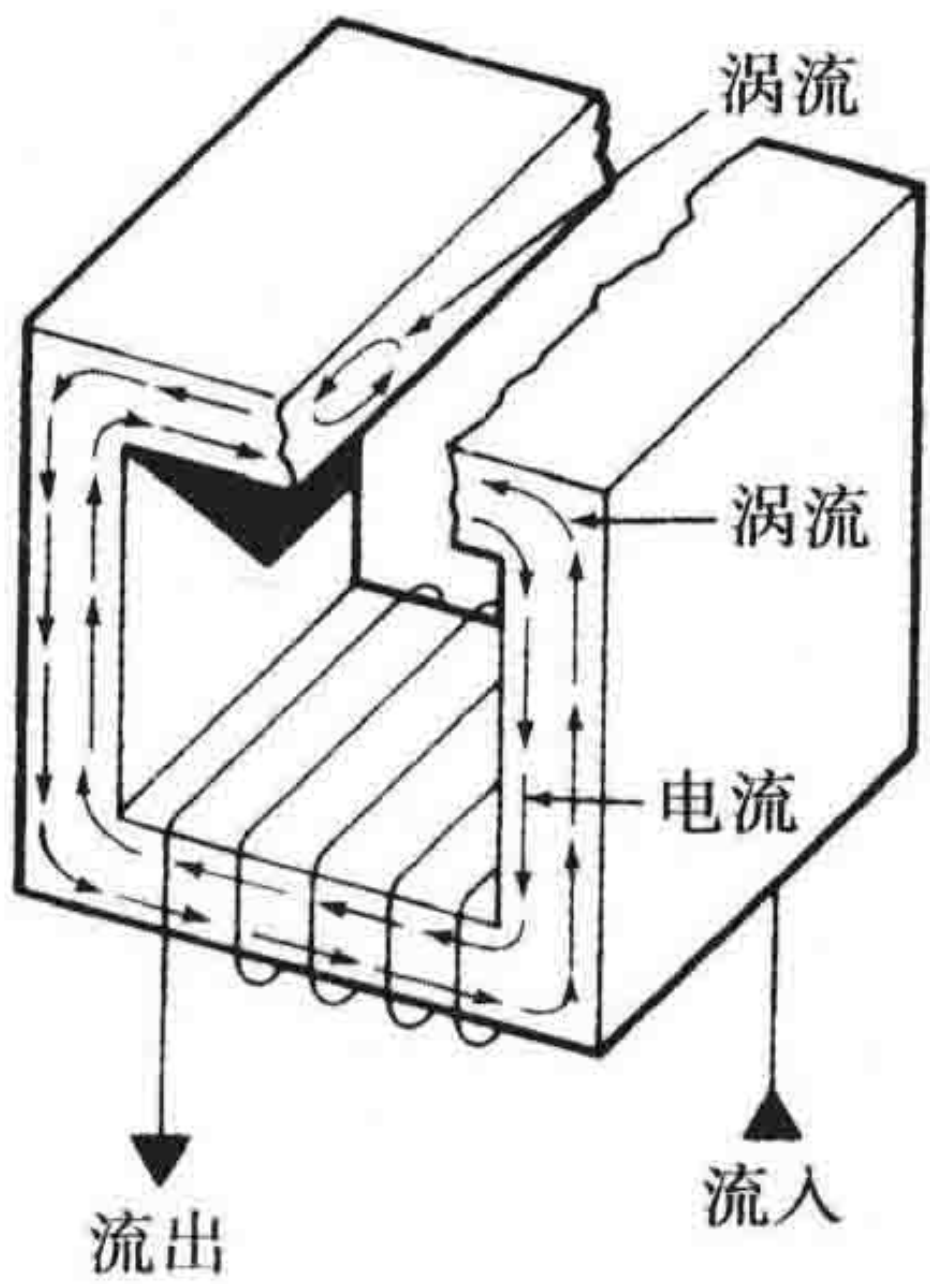


图 6-6 开口铁心中产生的涡流

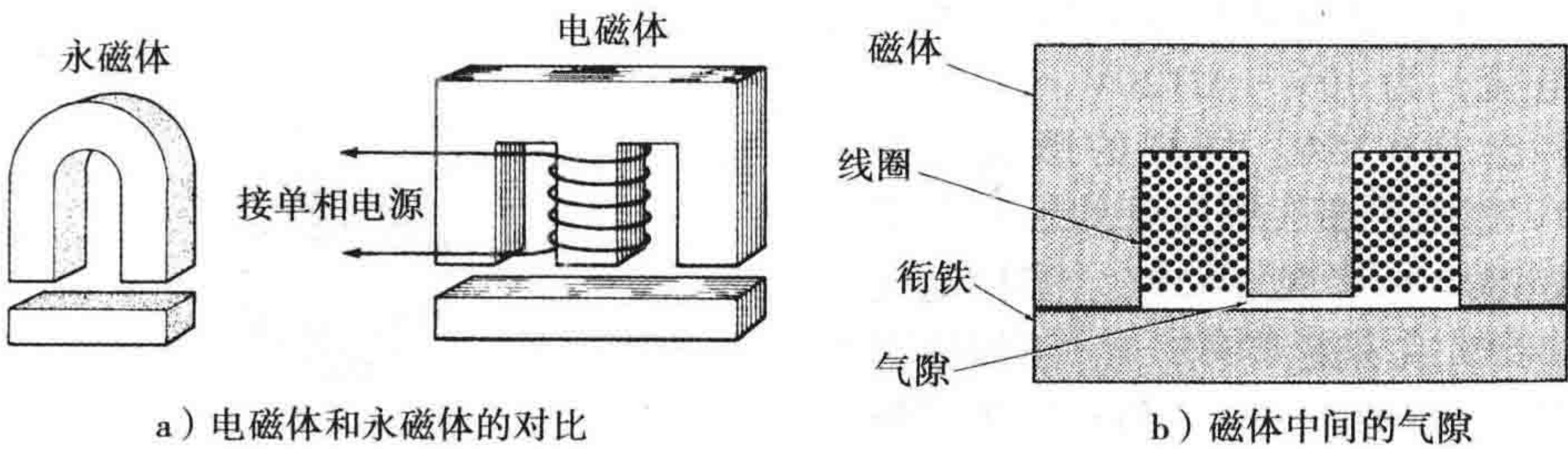


图 6-7 磁体结构

6.4 短路环

短路环用在交流螺线管上，以减少线圈中交变电流以及铁心磁路产生的交变磁场引起的震颤。图 6-8 显示了短路环是如何放置在磁性组件上的。短路环是由大容量导线制成的单环。运动的磁场将在这个单匝线圈中感应出电流，就像变压器的二次侧一样。该感应电流的相位与线圈电路中流过的电流相位略有不同。其结果是产生一个磁场：该磁场相位稍微滞后于原磁场，强度比原磁场稍弱。通过这个稍微滞后的峰值，在原磁场降为零时，短路环产生的感应磁场将发挥作用，使衔铁继续保持靠近磁路，减少了由于变化的磁场所引起的震颤。

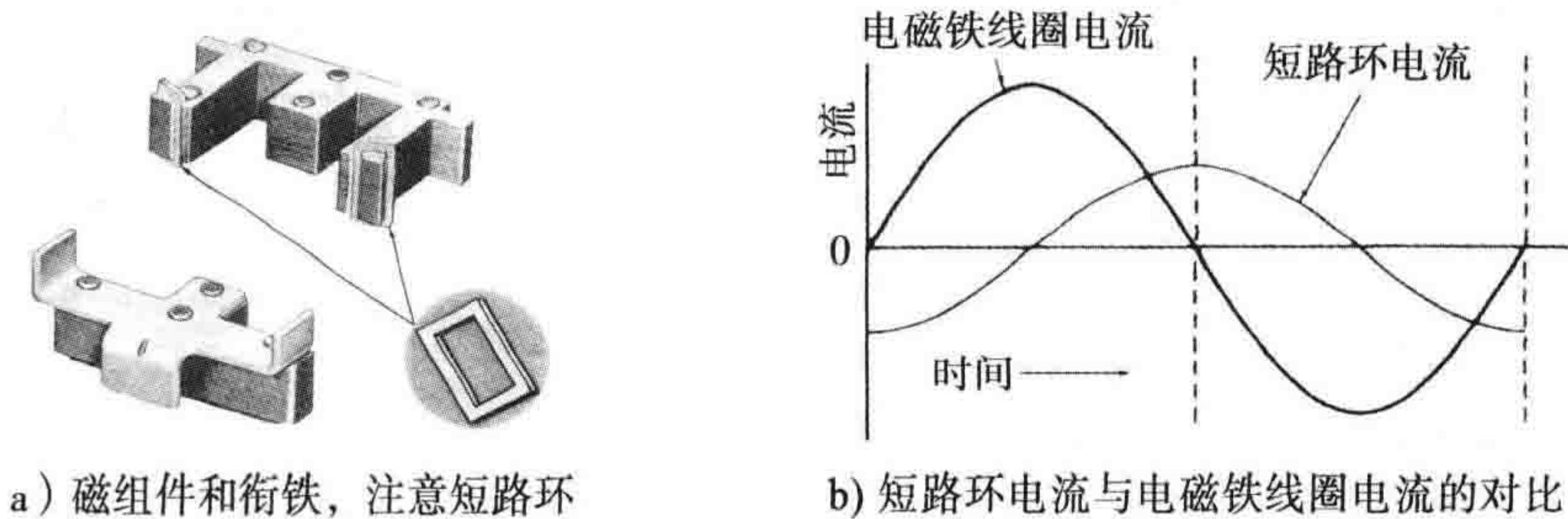


图 6-8 短路环（Square D 产品）



6.5 螺线管线圈

螺线管的线圈有特殊的要求。当它们通电时，将产生磁场，因此，操作所需的电流和电压的大小决定了它们预期的用途。激励线圈得电较使线圈保持带电需要更大的电流，尤其是线圈用于交流电时。线圈有感抗，其大小为线圈的电感量和电流频率乘以  $2\pi$  后的结果。这种感抗是以欧姆（ $\Omega$ ）来衡量的，在某些情况下也称作阻抗。这意味着线圈通电后倾向于阻止电流变化，并且倾向于将铁心材料拉入线圈使电感发生变化。线圈通电后的浪涌电流会产生一个磁场，该磁场经过螺线管线圈，在与磁场相反的方向上感应出感应电动势。因为交流电是不断变化的，大多数情况下每秒变化 120 次（60Hz），所以它并不总能达到线圈电感的物理限制值，而且反方向产生的  $X_L$  比线圈铜绕线的电阻大。

通电后的浪涌电流是保持衔铁正常吸附在磁体组件上所需电流的 6~10 倍。线圈通电一段时间后会产​​生热量。线圈的额定值是以伏安为单位的，它是电压乘以激励线圈得电所需电流的结果。

6.5.1 维持电流额定值

如果一个线圈的伏安额定值为  $300V \cdot A$  和  $30V \cdot A$  的维持值，那么 120V 线圈的浪涌电流标记为  $300V \cdot A/120V$ 。这意味着需要有 2.5A 的电流来产生  $300V \cdot A$ 。如果同一线圈的维持电流（也就是螺线管完全闭合时流过的电流）为  $30V \cdot A/120V$ ，那么其维持电流将会是 0.25A。同样的螺线管如果接入 480V 电压，那么螺线管的浪涌电流为  $300V \cdot A/480V$  或者是 0.625A，维持电流为  $30V \cdot A/480V$  或者是 0.0625A。正如你所见到的，根据线圈的额定伏安值可以确定螺线管起动和保持接触时所需电流的大小。

6.5.2 线圈电压

线圈的额定电压由制造商确定。绕线的匝数和尺寸会影响线圈通电所需要的电压。还要记住流过线圈的电流大小是由线圈匝数（绕线的直流电阻）和铁心材料来决定的。铁心材料、线圈匝数以及线圈的长度和直径确定了其电感。在考虑线圈的交流操作时电感是很重要的因素。

吸合电压是线圈衔铁开始移动所需的最小电压。维持电压是使衔铁吸合在磁体表面需要​​的最小电压。释放电压是衔铁开始失去对磁体的吸引回到断开位置所需的电压（如图 6-9 所示）。

对大多数螺线管来说，吸合电压比维持电压大一些。然而也有例外，比如钟形曲柄式衔铁螺线管和磁体组件，图 6-10 显示了这种螺线管的结构。

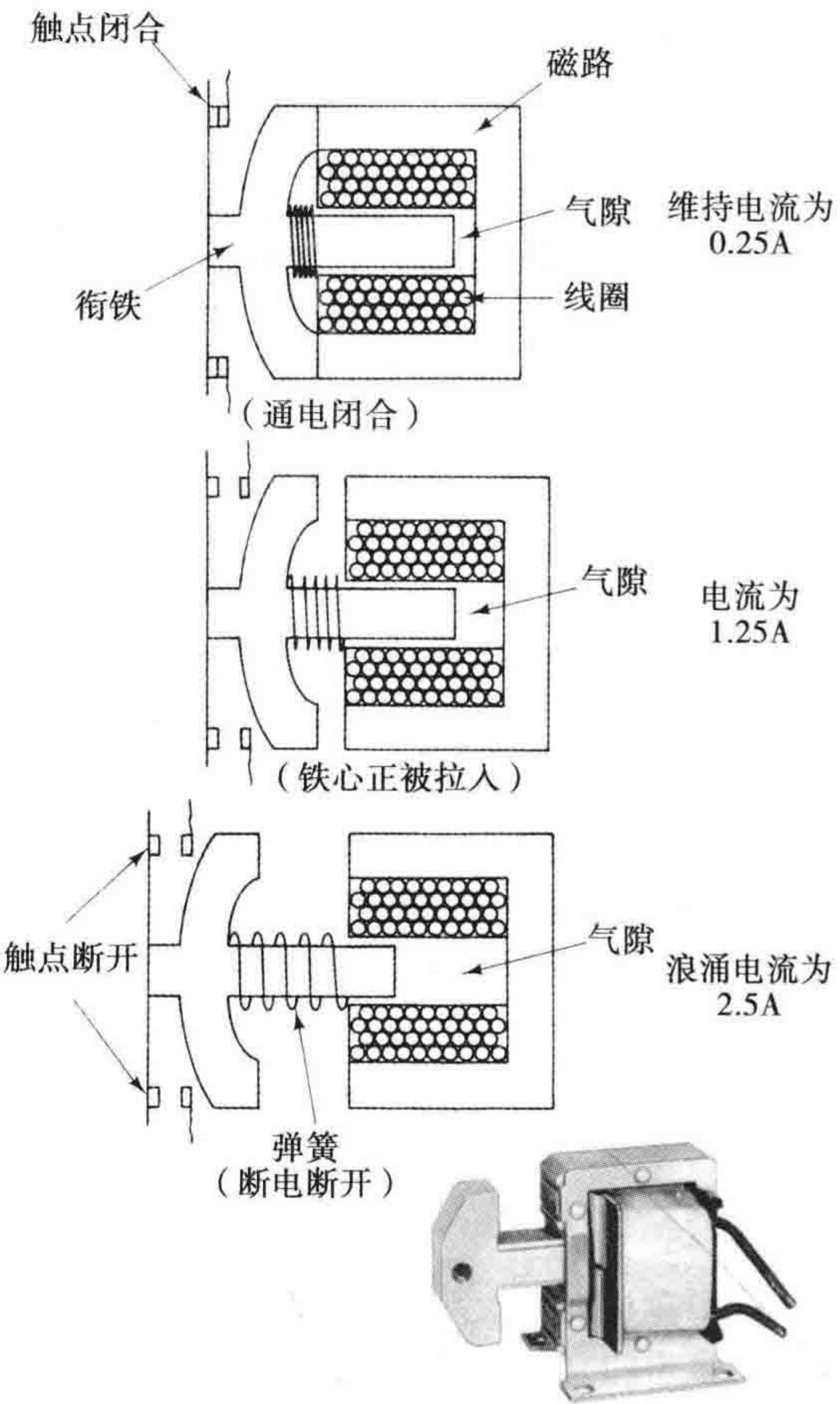


图 6-9 螺线管的运动过程以及各阶段流过的电流 (Cutler-Hammer 产品)



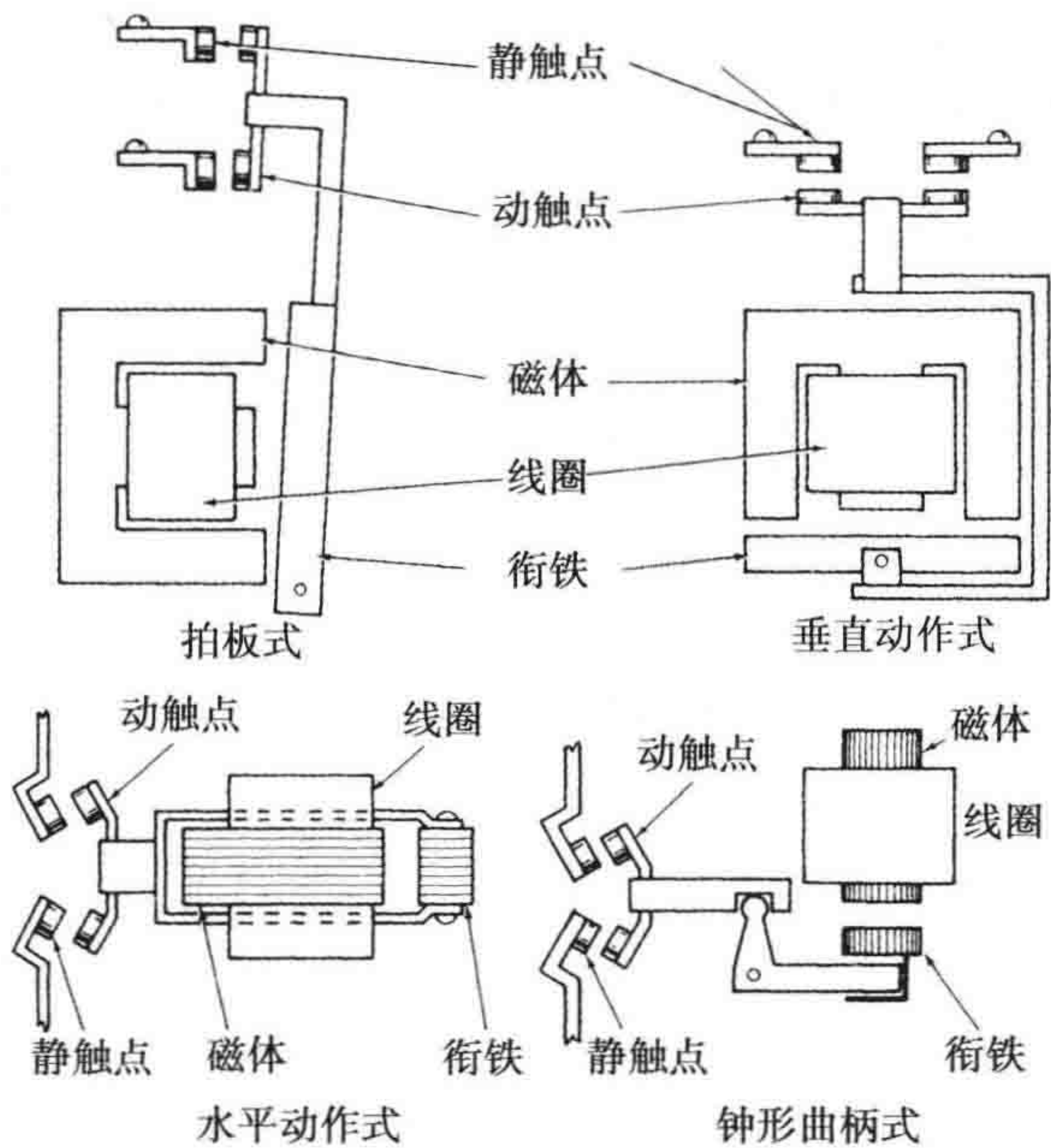


图 6-10 磁体结构和衔铁组件 (Square D 产品)

6.5.3 电压变化的影响

低压控制使得线圈电流变小，磁力也会减小。在具体垂直动作组件的装置上，如果通电电压大于吸合电压，但低于维持电压，控制器可能会开始移动但是不会闭合。在这种情况下，线圈电流不会降到维持电流。由于线圈不会被设计得有能够持续承受高于维持电流的电流，因此，它很快就会因过热而烧坏。衔铁也会震颤。除了会有噪声外，还会导致磁体表面磨损（如图 6-11 所示）。

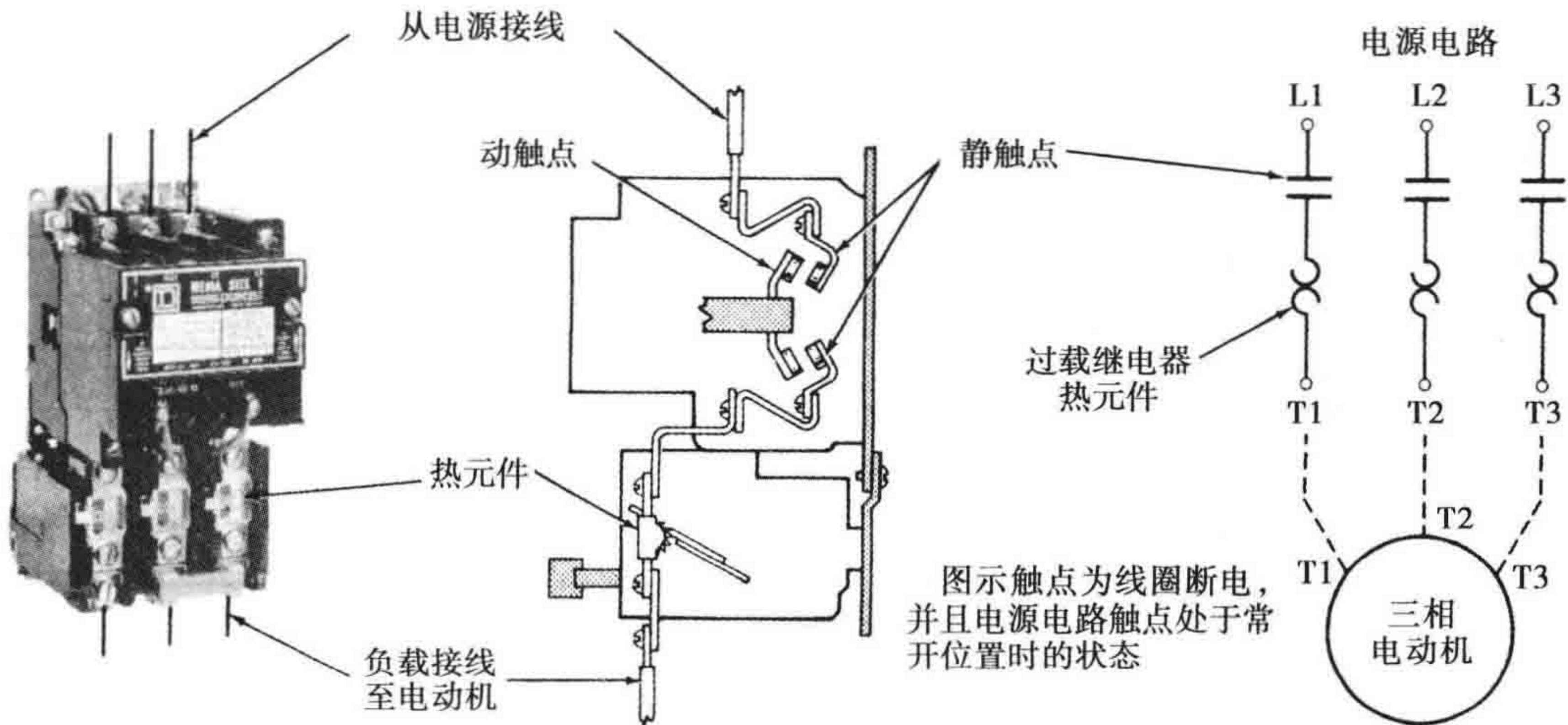


图 6-11 电磁起动器电源电路 (Square D 产品)

6.6 交流噪声

所有与磁场效应相关的交流设备都会产生特有的嗡嗡声。这种噪声主要是因为磁力的变



化（随着电流变化）包括机械摩擦而造成的。接触器、起动器和继电器噪声过大可能是以下某些操作所产生的结果：

- 1. 短路环损坏。
- 2. 操作电压过低。
- 3. 线圈失常。
- 4. 衔铁和磁体组件配合得不好——衔铁不能很好地被吸附。
- 5. 磁体表面有污垢、锈、锉屑等——衔铁不能完全吸合。
- 6. 阻塞或者运动部件的黏结（如触点、弹簧、导轨、支架等），以至于阻止了衔铁的移动。
- 7. 控制器安装得不正确，例如，固定到墙壁上的一块薄胶合板上，就可能会产生“共振板”效应。

6.7 思考题

- 1. 磁现象是什么时候发现的？
- 2. 螺线管是什么？怎样用它控制开关动作？
- 3. 电磁阀的作用是什么？
- 4. 涡流是怎样产生的？怎样减小涡流？
- 5. 交流螺线管为什么使用短路环？
- 6. 什么是感抗？用什么单位可以衡量它？
- 7. 额定维持电流是什么意思？
- 8. 低控制电压对磁体组件有什么影响？
- 9. 哪 5 种情形可能导致磁体组件噪声过大？
- 10. 共振板效应是什么意思？

6.8 练习题

螺线管有一个线圈，将其用在交流电路时线圈有电感和感抗。在某些情况下，当感抗和电阻同时存在时，阻抗（Z）也是一个很重要的因素。快速复习这两个很重要的因素能让你知道它们的存在，并理解它们在交流螺线管的正确操作中的作用。

$$X_L=2\pi fL \quad Z_L=\sqrt{R^2+X_L^2}$$

- 1. 当电源电压的频率为 60Hz 时，6H 电感的电抗是多少？
- 2. 如果线圈的电感为 6H，那么频率为 60Hz 时感抗是多少？
- 3. 线圈的电阻为 120Ω，电抗为 1721.7184Ω，当 120V 的电源频率为 60Hz 时，线圈的电感为多少？
- 4. 问题 3 中电感的最大直流电流为多少？
- 5. 如果施加的电压频率为 50Hz，电感为 10H，那

么线圈的感抗为多少？

- 6. 求出下列各串联组合的感抗和阻抗：

	<i>f</i> (Hz)	<i>L</i> (H)	<i>R</i> (Ω)	<i>X<sub>L</sub></i>	<i>Z</i>
a.	100	10	5000		
b.	200	10	5000		
c.	300	10	5000		
d.	400	10	5000		
e.	500	10	5000		

- 7. 求出下列各串联组合的感抗和阻抗：

	<i>f</i> (Hz)	<i>L</i> (H)	<i>R</i> (Ω)	<i>X<sub>L</sub></i>	<i>Z</i>
a.	60	5	1000		
b.	50	5	1000		
c.	25	5	1000		



# 第 7 章

## 继 电 器

### 7.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

- 1. 识别继电器。
- 2. 确定继电器的用途。
- 3. 描述固态继电器的动作。
- 4. 确定继电器触点的状态。
- 5. 解释如何用晶体管开关电路。
- 6. 区别双向可控硅和双向触发二极管。
- 7. 解释双向可控硅是如何工作的。
- 8. 解释晶闸管是如何工作的。
- 9. 理解断相继电器是如何操作的。
- 10. 描述固态继电器是如何动作的。
- 11. 定义零电流关闭和零电压开通。
- 12. 识别各种类型的固态继电器开关。
- 13. 区别负载监测器和负载转换继电器。
- 14. 解释热过载继电器是如何操作的。
- 15. 识别各种类型的热过载继电器。

### 7.2 继电器

继电器（relay）是一种用于远程控制其他设备的装置。Relay 这个词的定义是传递的意思，而这是电磁装置所做的事。继电器通常在一个较远的地方用低电压和小电流来控制高电压和大电流的通断。

#### 7.2.1 继电器螺线管

继电器利用能产生吸力的螺线管进行工作。它是螺线管原理的一个实际应用例子（如图 7-1 所示）。一组触点或更多组触点与继电器的动衔铁相关联，当继电器接通或断开时，它们作为电触点接通或断开。

继电器的触点可以用在各种各样的用途上，比如单刀单掷（SPST）、单刀双掷（SPDT）、双

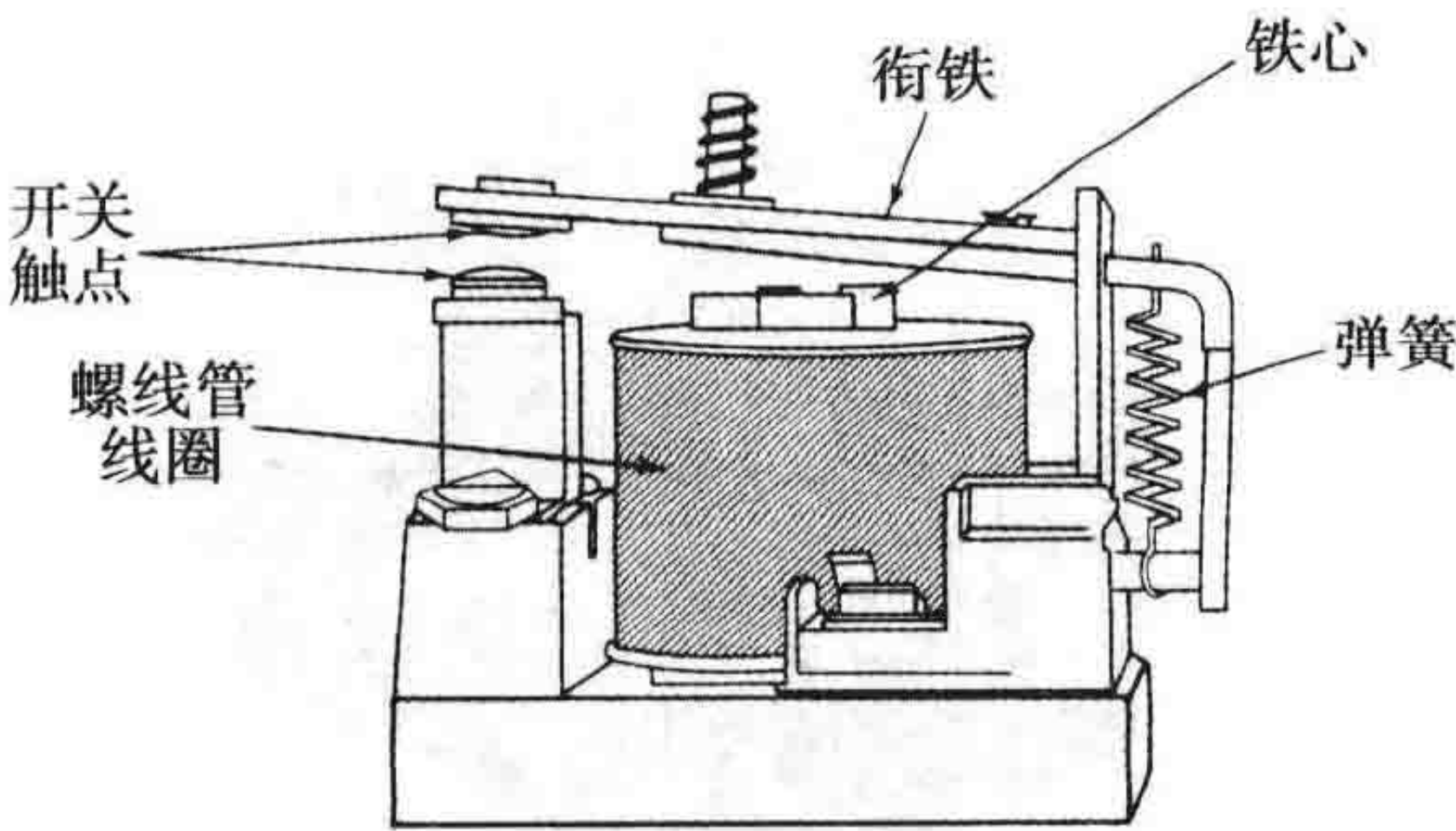


图 7-1 应用在继电器上的螺线管



刀双掷 (DPDT) 或其他想要的组合。

继电器的优势在于小的线圈电流能够产生巨大的拉力。触点本身可以做得很大，而且能够对大电流进行处理和开关控制。通过极小的控制电流来接通和断开大得多的电压和电流，这是一种很安全的方式。

7.2.2 继电器的用途

继电器可以控制小型电动机的启动和停止操作。图 7-2 显示了如何使用磁铁和衔铁组件控制电动机所在主电路的大电流。图 7-3 所示为用于远程控制电动机或其他电气装置的双刀双掷继电器。

7.2.3 继电器衔铁

注意观察继电器的衔铁是如何与一组触点相连的，当衔铁移动到闭合位置时，触点也闭合（如图 7-2 所示）。电磁铁使远程控制 and 手动控制有所区别。电磁铁由绕有线圈的铁心组成，当电流流过线圈时，铁棒也就是衔铁会被线圈中电流产生的磁力所吸引，在吸合行程范围内，两个与衔铁相连的触点（动触点）都会与静触点接触。

电磁铁可以看作是永久磁铁，但是，电磁铁确实有断开与接通的能力。切断线圈或者说电磁铁的电流会使其断电，这意味着衔铁将会被释放并回到其原来的位置，触点也不再接通，这就意味着与触点相连的电路也会断开。低电压小电流就能使线圈得电。这样依次会使触点闭合，接通与继电器触点相连的电气设备。通过一些改进，可以形成非常有用的电动机控制器。

7.2.4 继电器触点

如果继电器触点表面凹凸不平或者是被烧过，那么就需要将其抛光了，从而使得触点能够彼此紧紧贴在一起，接通电路。这时可以先断电，在触点中间放一张砂纸（颗粒很细），紧紧握住触点，然后移动砂纸直到磨平了触点上的最高点。然后使用砂粒更细的砂纸继续打磨尖端。注意确保不要把触点打磨到不能够正常工作的状态。可能会用到图 7-4 所示的工具。需要注意的是有些制造商不推荐用砂纸打磨触点，而是简单地用一组新的触点来替换。

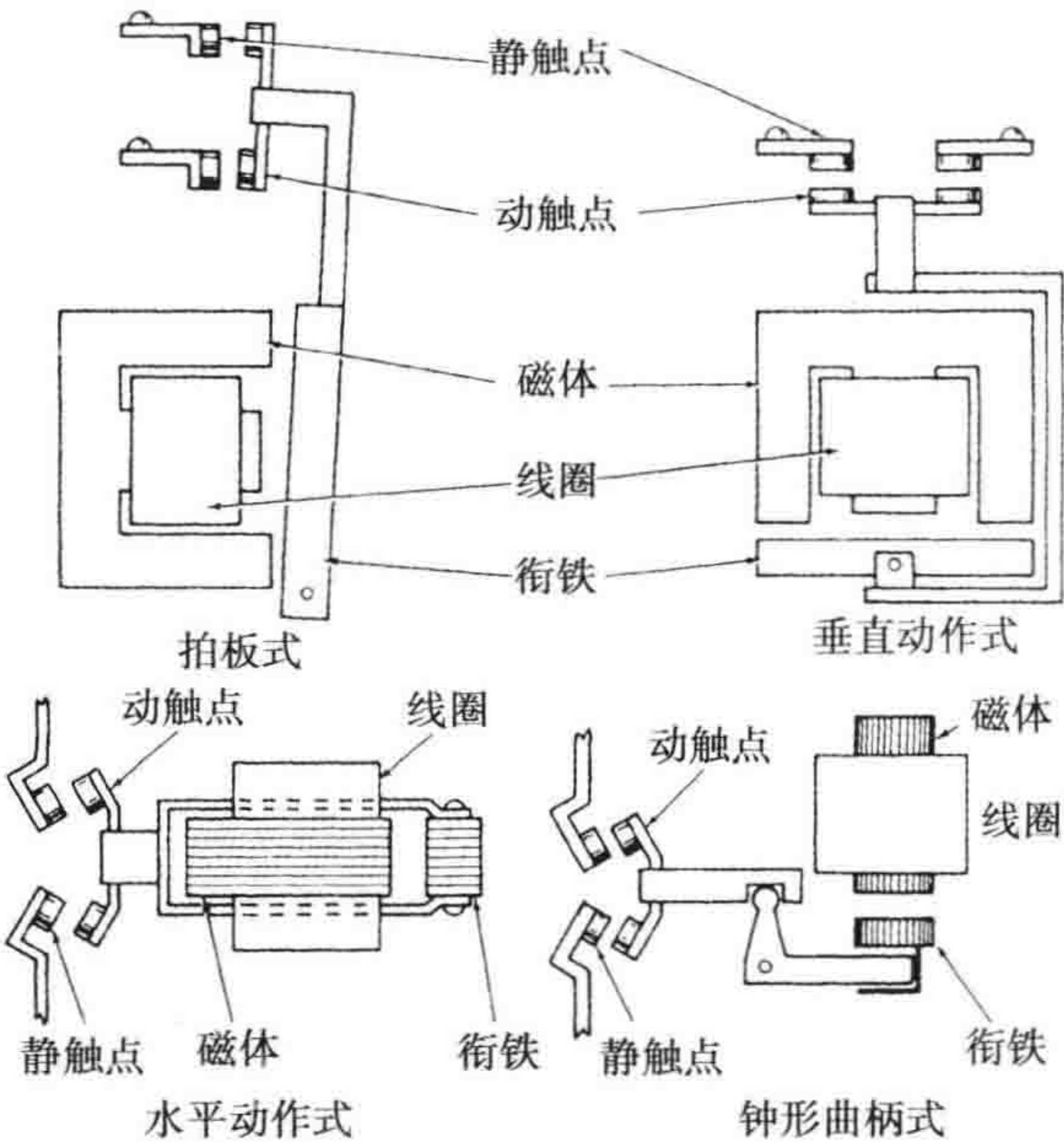


图 7-2 磁铁和衔铁组件

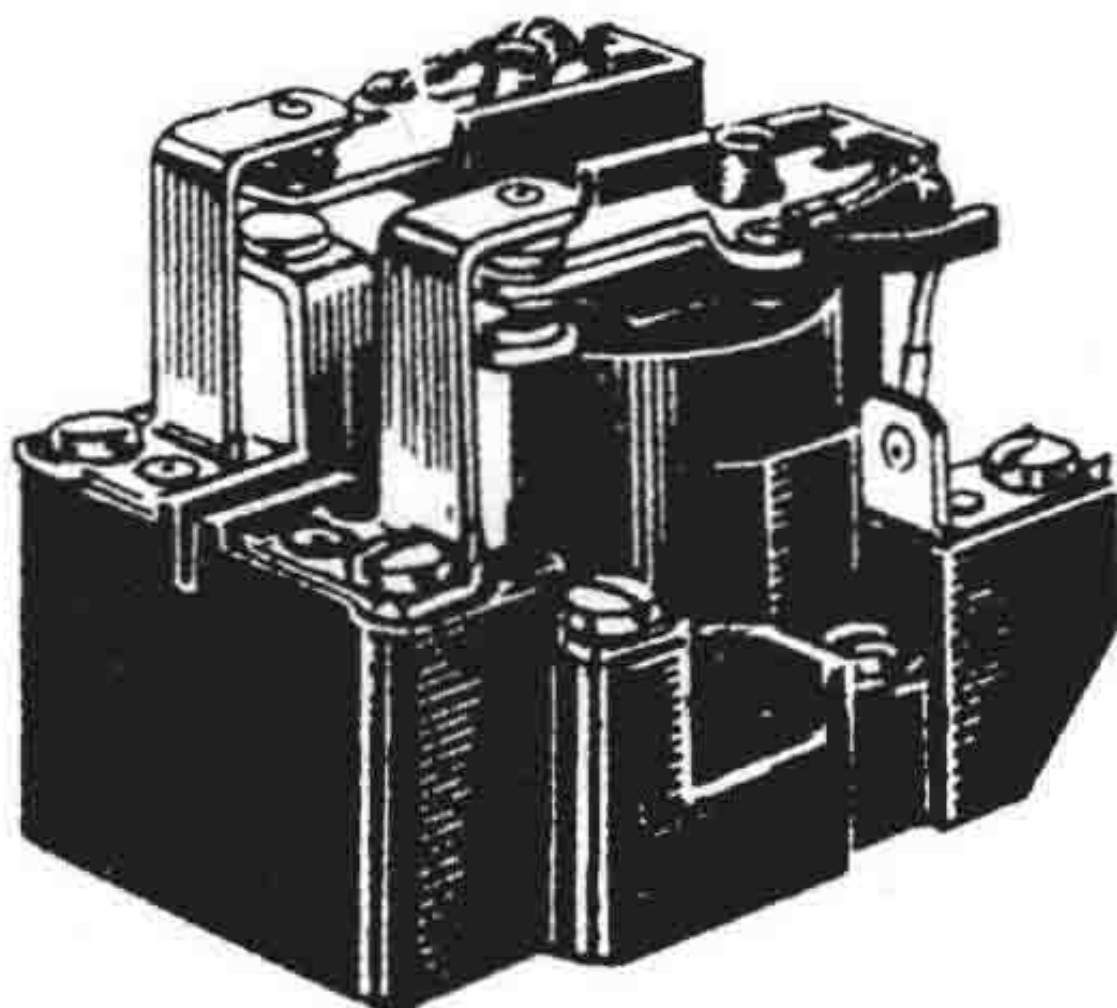


图 7-3 双刀双掷继电器



图 7-4 继电器触点打磨器



7.3 固态继电器

固态继电器是指用硅或锗材料制成的继电器，它与晶体管和二极管的操作原理相同。大多数情况下，继电器只不过是一个 PNP 型或者 NPN 型的晶体管。在其他情况下，固态继电器是可控硅整流器 (SCR)。当然，这样布置电路是为了完成继电器要求的开关动作。这种类型的继电器有机电继电器不具有的一些特点。和所有的事物一样，它有优点，当然也有些限制和缺点。大多数情况下，制造商会指明其优点，你需要仔细检查设备制造商提供的信息以了解其限制。

固态继电器与机电继电器最基本的区别之一是没有线圈和触点。固态继电器完成开关动作只需要很小的电压和电流。晶体管或晶闸管完成实际的开关动作，要根据施加在其器件上的控制电压的变化来决定半导体装置的导通或不导通。例如，图 7-5 所示为固态继电器。

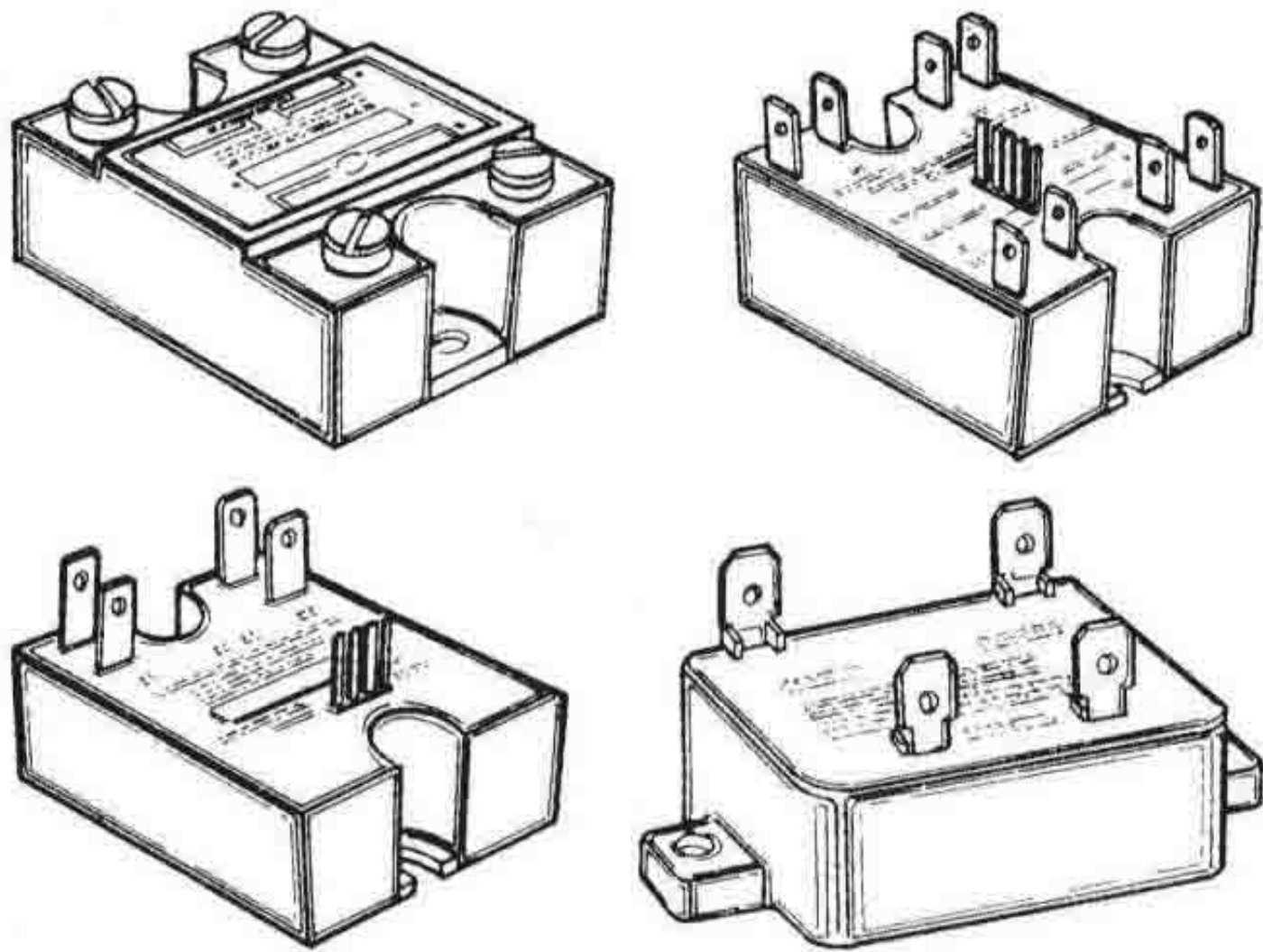


图 7-5 固态继电器

7.3.1 晶体管

晶体管是固态继电器里用于完成开关动作的装置，接下来我们在这里仔细看看它们的操作（如图 7-6 所示）。在这种类型的继电器里面，晶体管是很重要的元件。晶体管有 3 个极：基极 B、集电极 C 和发射极 E。晶体管基极和发射极间的电压能够控制发射极和集电极间的电流。对于 PNP 型的晶体管，基极承受负电压时，发射极和基极间有电流流过，这得益于发射极和基极结合处 (PN 结) 掺杂的硅材料的特性。然后发射极和基极间的电压就可以使晶体管的发射极和集电极间流过电流。基极电压为正，发射极电压为负时，将阻止基极与发射极间电流的流动，晶体管停止导通。这意味着在第一阶段晶体管起到了闭合触点的作用，在第二阶段它起到了断开触点的作用。这意味着可以通过基极和发射极间很小的电压变化来控制发射极和集电极间的电流。这里没有可动的环节，也没有触点。然而，晶体管允许流过的电流有最大限制。事实上。由于固态继电器具有无动触点、磨损或电弧、劣化或振动，同时也不受灰尘损害等特点，这使得固态继电器的需求量很大。

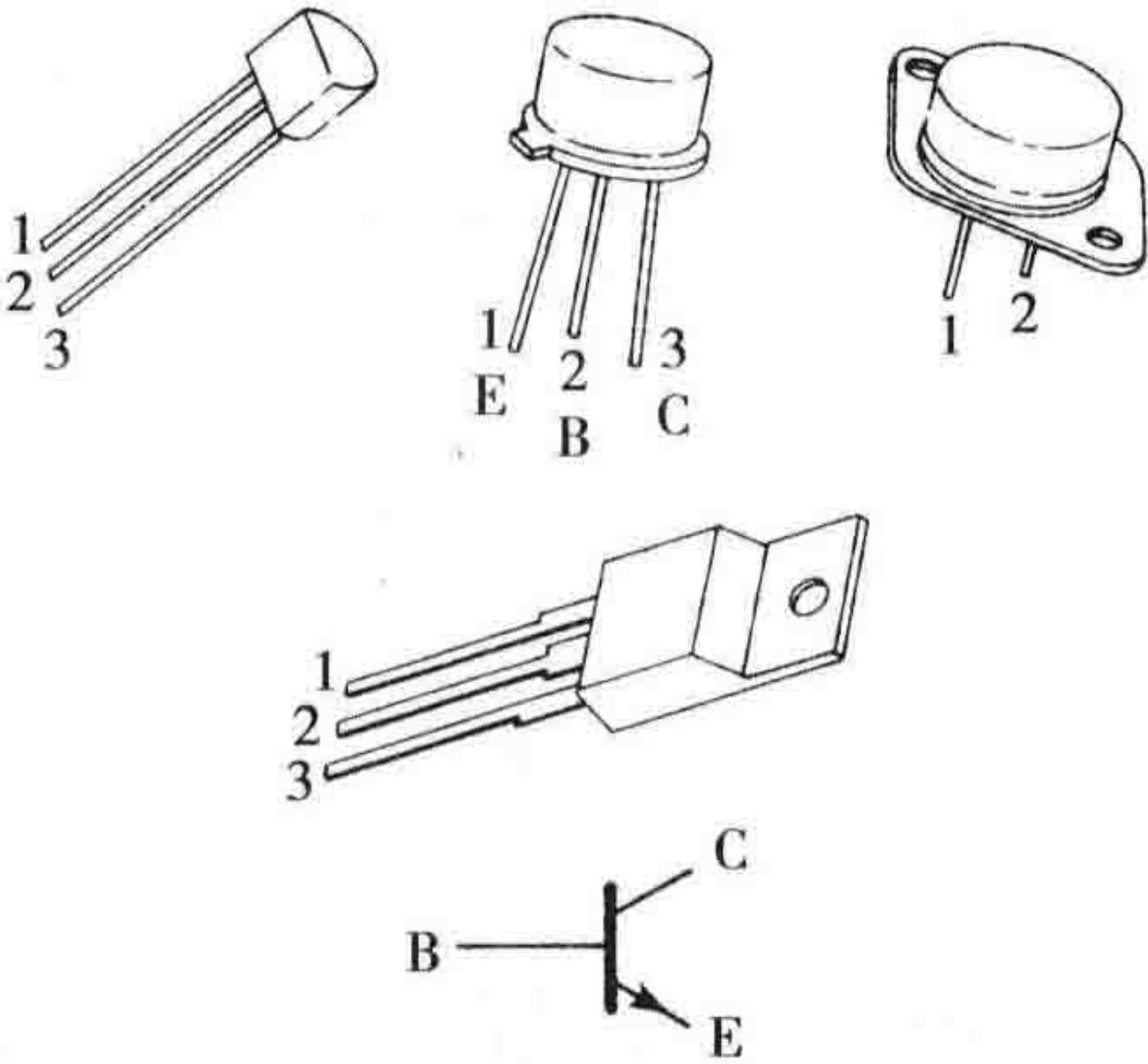
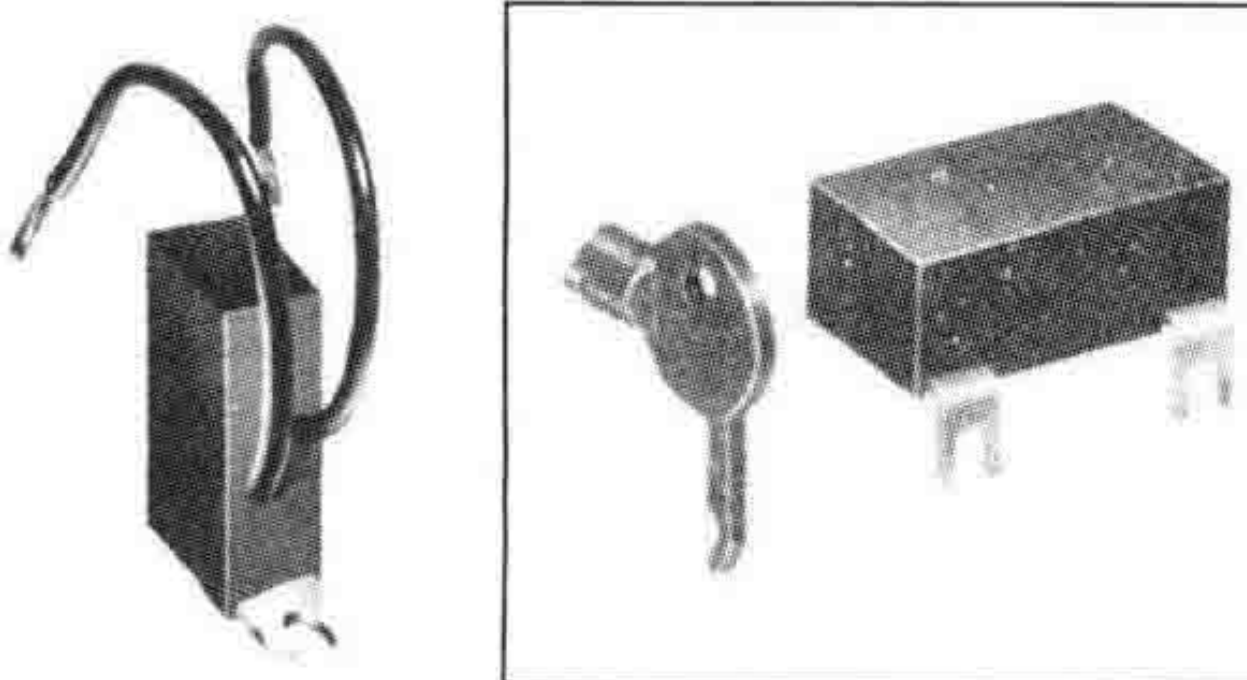


图 7-6 各种各样的晶体管

7.3.2 浪涌保护

固态装置有时候会和电磁开关一起来使用。这意味着可能需要用瞬态电压抑制器来防止线路上电磁装置产生的有害电脉冲。图 7-7 所示为瞬态抑制器，图 7-8 所示为安装在电磁继电器上的瞬态抑制器。



手动测试工具——提供了一种手动开关基本继电器或时间继电器触点的方法，并保持所有的触点在操作后的状态直到工具移除，这大大简化了线圈或触点不带电时检测线路的方法
瞬态抑制器——包含一个 R-C 电路，用于将线圈产生的瞬态电压抑制到约峰值电压的 2 倍。这在开关固态装置附近的 X 型继电器时很有用。它只适用于交流 (AC) 120V 线圈中

图 7-7 瞬态抑制器



7.3.3 双向可控硅

双向可控硅（中文全称：三端双向可控硅开关）也可作为固态开关来使用。因为晶闸管（SCR，也称可控硅整流器）只能控制一个方向的电流，因此它的用途有所限制。双向可控硅可以双向导通，它和晶闸管的特性相同。这意味着可以把双向可控硅看作是两个反向并联的 SCR。

**双向可控硅的结构** 观察图 7-9 所示的双向可控硅的画法。双向可控硅有 3 个端子：阳极 1（MT<sub>1</sub>）、阳极 2（MT<sub>2</sub>），以及门极（G）。研究双向可控硅的 PN 结结构可知，电流可以流过 PNP 层，或者是 NPN 层。该装置可以描述成一个 NPNP 层与 PNP 层相并联。这种四层材料的结构使得双向可控硅相当于两个并联的 SCR，连接示意图如图 7-10 所示，但图 7-10 所示的连接不代表双向可控硅的操作，这是因为双向可控硅的门极电压响应和 SCR 的门极电压响应不同。图 7-11 显示了双向可控硅的原理图，因为双向可控硅能够双向导电，所以原理图包括两个反向的二极管。



图 7-8 安装在电磁继电器上的瞬态抑制器 (Square D 产品)

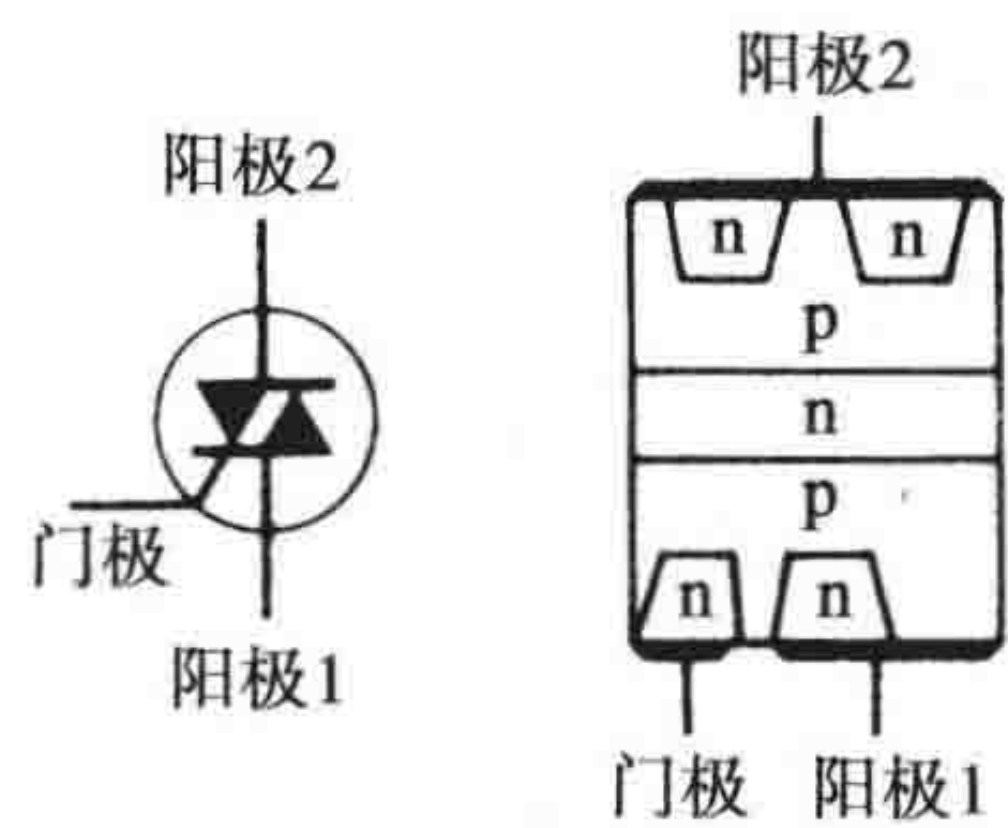


图 7-9 双向可控硅的材料结构

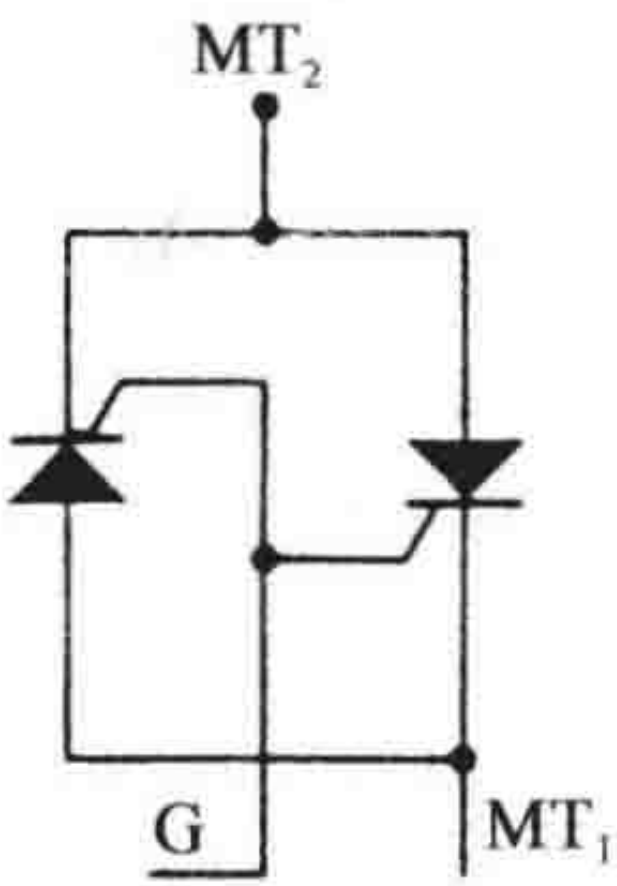


图 7-10 两个并联连接的晶闸管

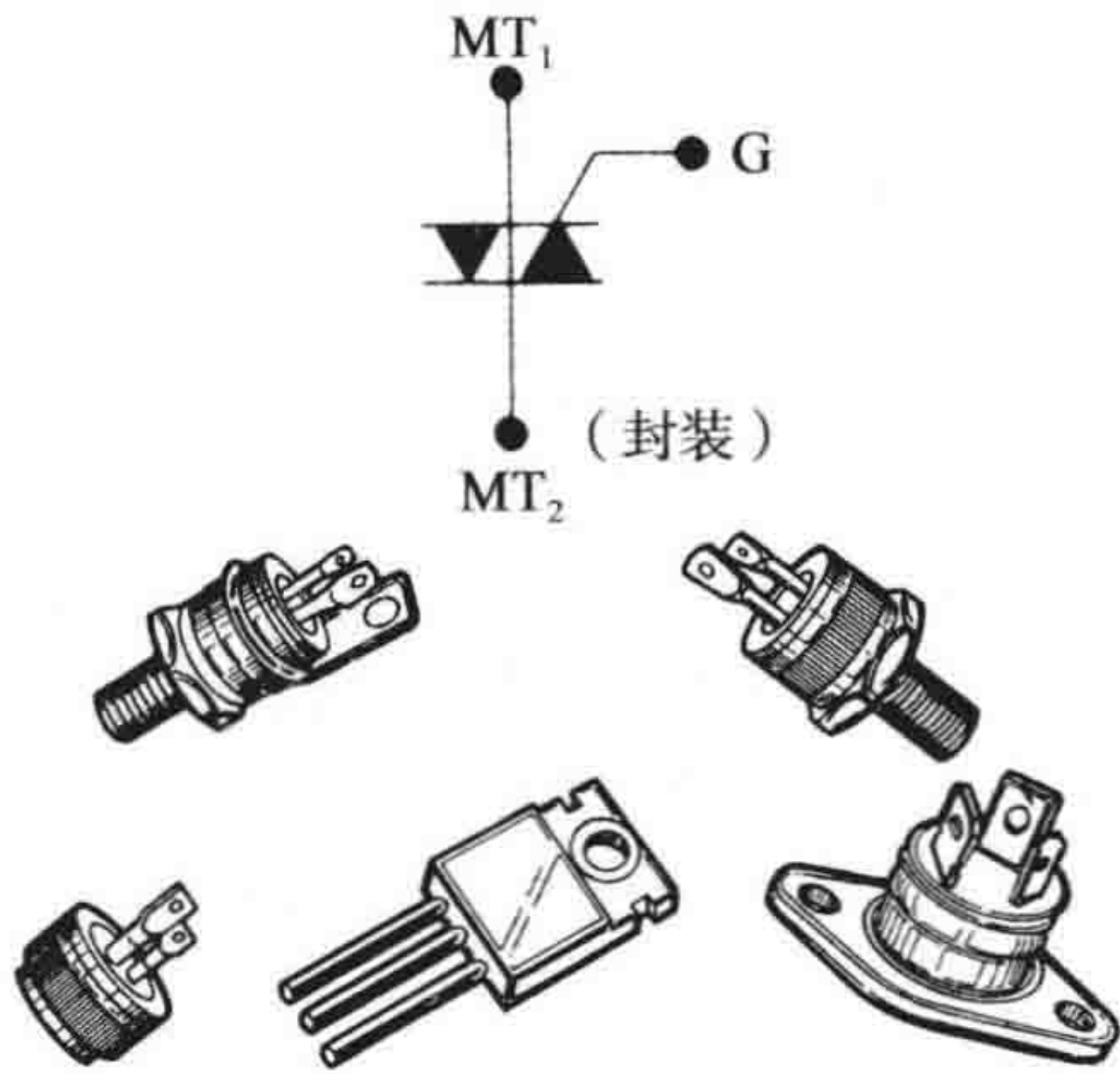


图 7-11 双向可控硅符号以及各种不同的结构

**双向可控硅的应用** 因为双向可控硅可以双向导通，所以将其用在交流电路中是最好的，图 7-12 所示为接线图。在这个电路中，当门极被触发的时候，全部输入都施加在负载上。当 S<sub>1</sub> 打开的时候，由于施加的电压低于导通值，所以双向可控硅不能导通；当 S<sub>1</sub> 闭合的时候，双向可控硅被触发，交流电的正负半周电压都将施加到负载上。这点不同于晶闸管。晶闸管只能将一半的电压施加到负载上，因为它只能单向导通。其所有的优点都是利用小的门极电流去控制大的负载电流。

双向可控硅能够双向导通，并且只需要很小的电流来操作，但它和晶闸管相比有一些缺点。晶闸管的额定电流大于双向可控硅的额定电流。双向可控硅可以处理的上限电流为 25A，然而晶闸管能够安全处理大约 800A 的电流。这意味着当需要处理大电流时，晶闸管是更好的选择。

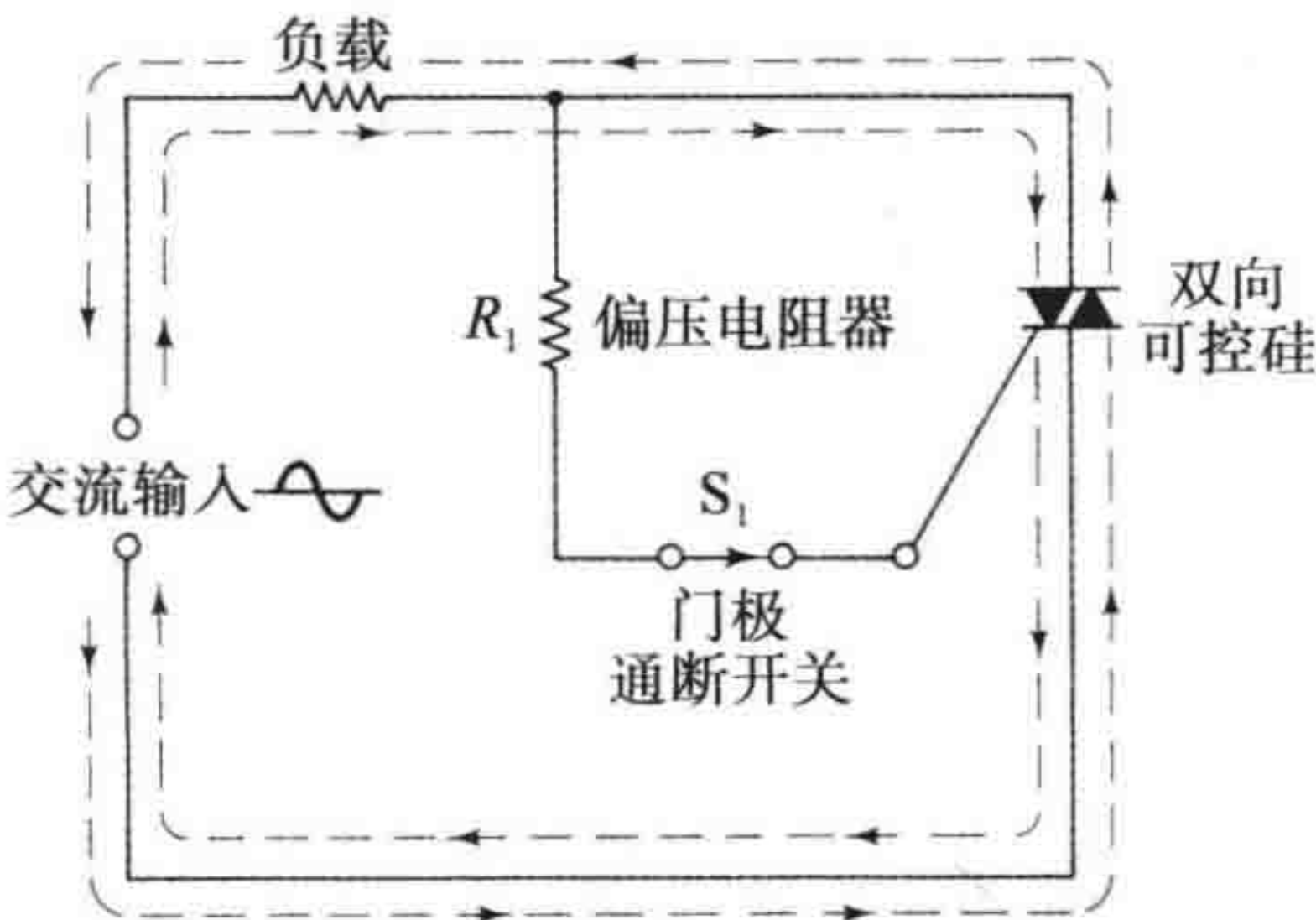


图 7-12 双向可控硅通过小的门极电流控制大的负载电流



晶闸管和双向可控硅的频率处理能力也有所不同。当控制电动机类的感性负载时，双向可控硅的开启会较慢。双向可控硅的工作频率比较低，其范围为 30~400Hz。而晶闸管可以安全处理高达 30kHz 的频率。

7.3.4 可控硅整流器

可控硅整流器（SCR，亦称作品闸管），是一个三端半导体装置，能够用作开关（如图 7-13 所示）。总体来说它是一个整流器，只能单向通电。SCR 最大的优点在于它的导通和关断能力。通断动作使得 SCR 在控制电流时很有用。

**SCR 的结构** 一个器件的详细结构能够提供它的操作信息。固态装置是由 P 型材料和 N 型材料构成的 PN 结制成的。双极型晶体管、二极管以及 FET（场效应晶体管）都是这样构成的。SCR 是通过四层交替的 P 型材料和 N 型材料制成的。大多数 SCR 是用硅制成的，但是有的也会用锗（如图 7-14 所示）。

注意观察图 7-14 中 P 层材料和 N 层材料是怎样夹在一起的。另一个需要注意的是它具有 3 个结。从这些层上引出 3 根外部接线，分别称作阳极（A）、阴极（K）和门极（G）。

图 7-13 所示为 SCR 的图形符号。不难看出 SCR 的图形符号几乎和整流二极管的符号一样，其主要区别在于门极。在有些情况下，没有环绕符号的那个圆圈，符号中的引线也可能不标号。如果标注引线，3 根引线分别标有字母 A、K 和 G。

**SCR 的操作** 因为 SCR 是半导体装置，所以它需要偏置电压使其导通。图 7-15 所示为简化了的 SCR 操作原理图。在门极上使用了一个开关以使电压施加到门极上。

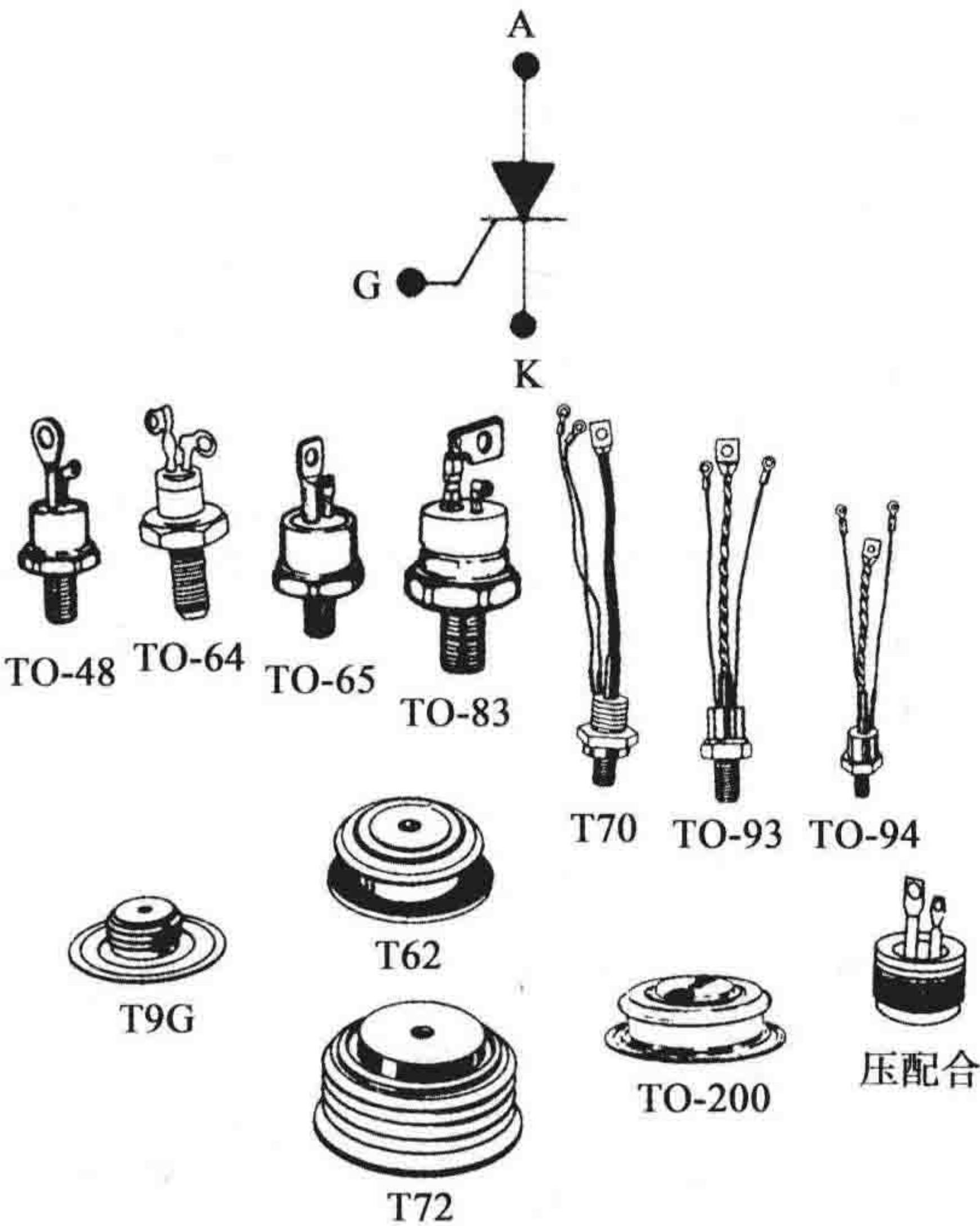


图 7-13 SCR 的符号以及各种结构

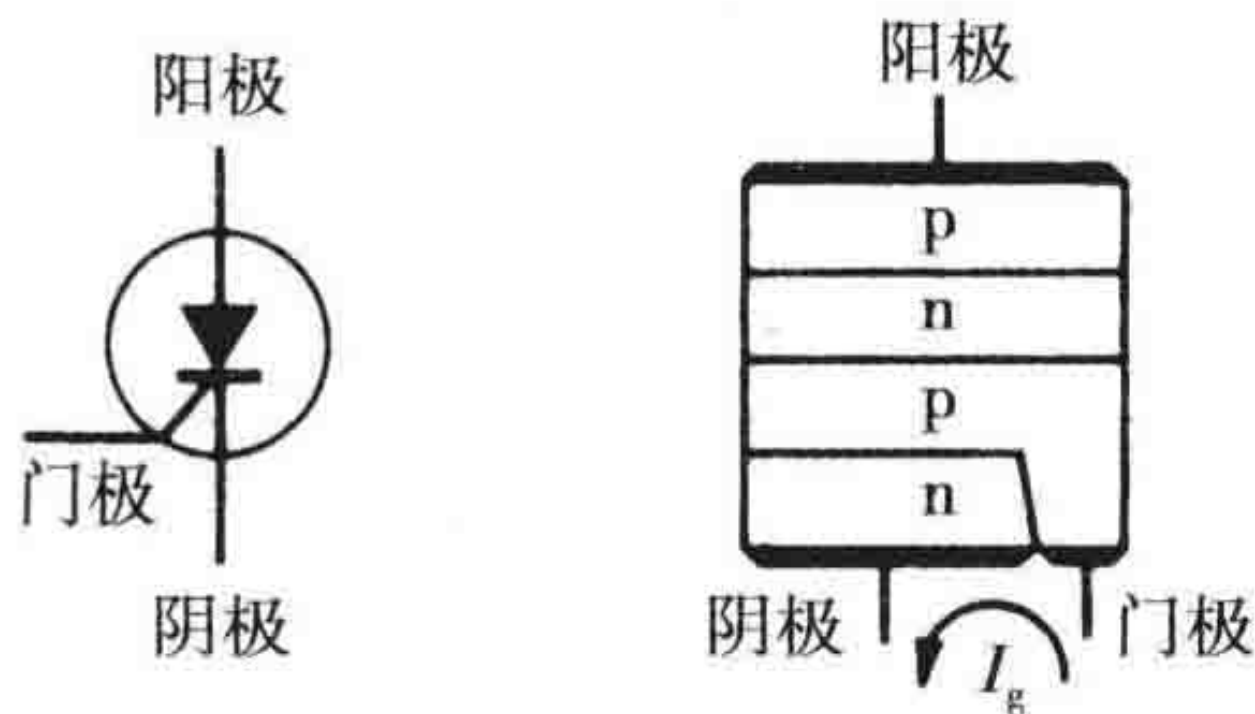


图 7-14 SCR 的层结构

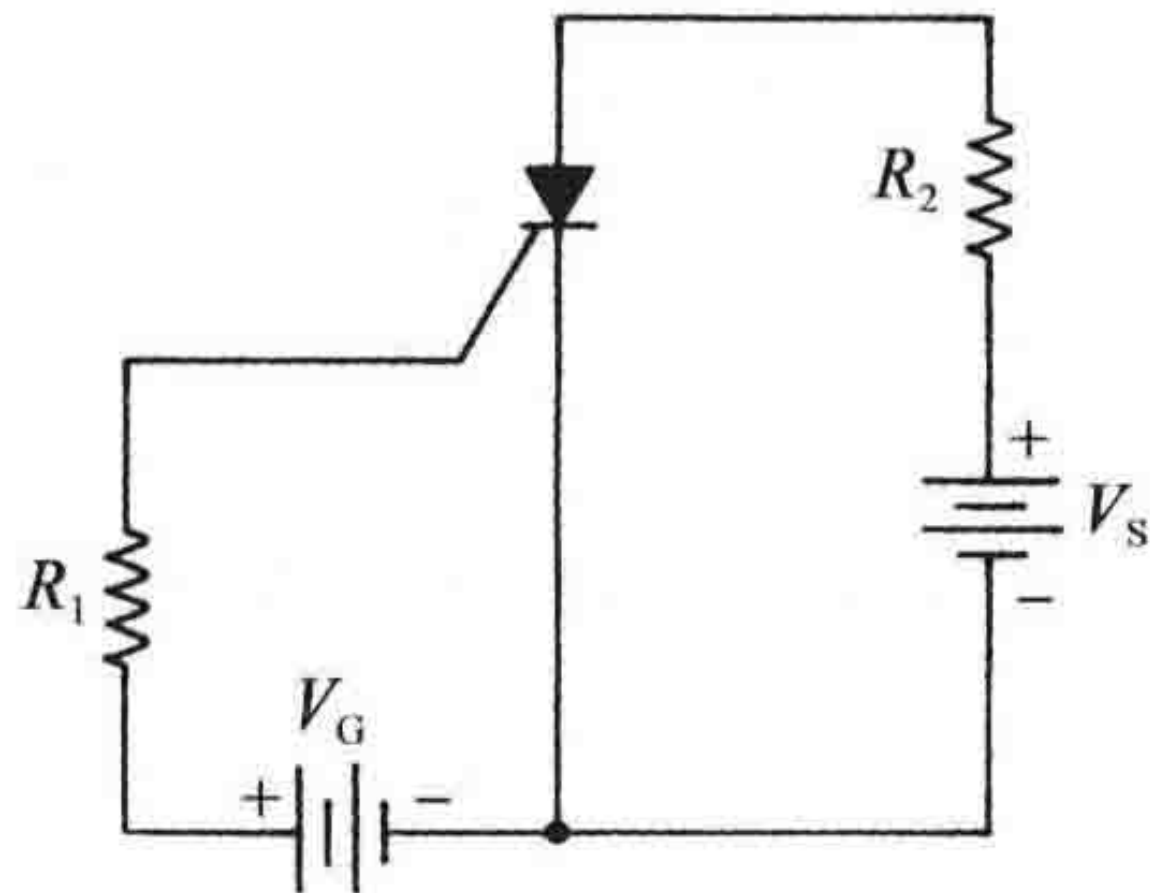


图 7-15 SCR 的偏置（偏压）电路

电阻  $R_1$  用于限制门极电路中的电流。另一个电压源提供阳极和阴极所需要的正向偏置电压。有一个电阻与阳极 - 阴极电路相串联，该电阻也可作为限流电阻。它能防止大电流损坏 SCR。没有电阻，正向偏置时，SCR 会急剧导通，工作很短时间后就会烧坏。SCR 导通前，门极电流必须达到一定的值。每一个 SCR 都有自己的导通电压，这意味着每一个 SCR 都必须施加合适的正向偏置以及合适的门极电流才能有效地作为开关来工作。

**SCR 的交流操作** SCR 可以控制直流和交流。因为它是一个整流器，所以它只在交流



的半个周期里面导通。只有在输入电压使阳极为正，阴极为负时 SCR 才会导通（如图 7-16 所示）。闭合开关  $S_1$ ，形成正电压，SCR 导通。门极电路中的串接电阻用于限流，电路中的二极管用于反向电压时保护阳极和阴极。

如果门极开关  $S_1$  闭合，阳极的极性为正时，SCR 导通。如果门极开关断开，SCR 继续导通，直到阳极和阴极间的电压值降低到低于导通电压。一旦电压值降低到低于导通电压，SCR 就会保持关断，直到开关  $S_1$  再次闭合。

和电气开关相比，使用 SCR 有很多优点。例如，SCR 不会磨损，不会产生接触电弧，也不会黏在某个位置。这意味着 SCR 是比机械开关更可靠的器件，尤其在大电流应用中。SCR 可以由开关来控制，也可以由计算机产生的电脉冲来控制。最重要的特点是在门极施加很小的电流可以控制很大的负载电流。

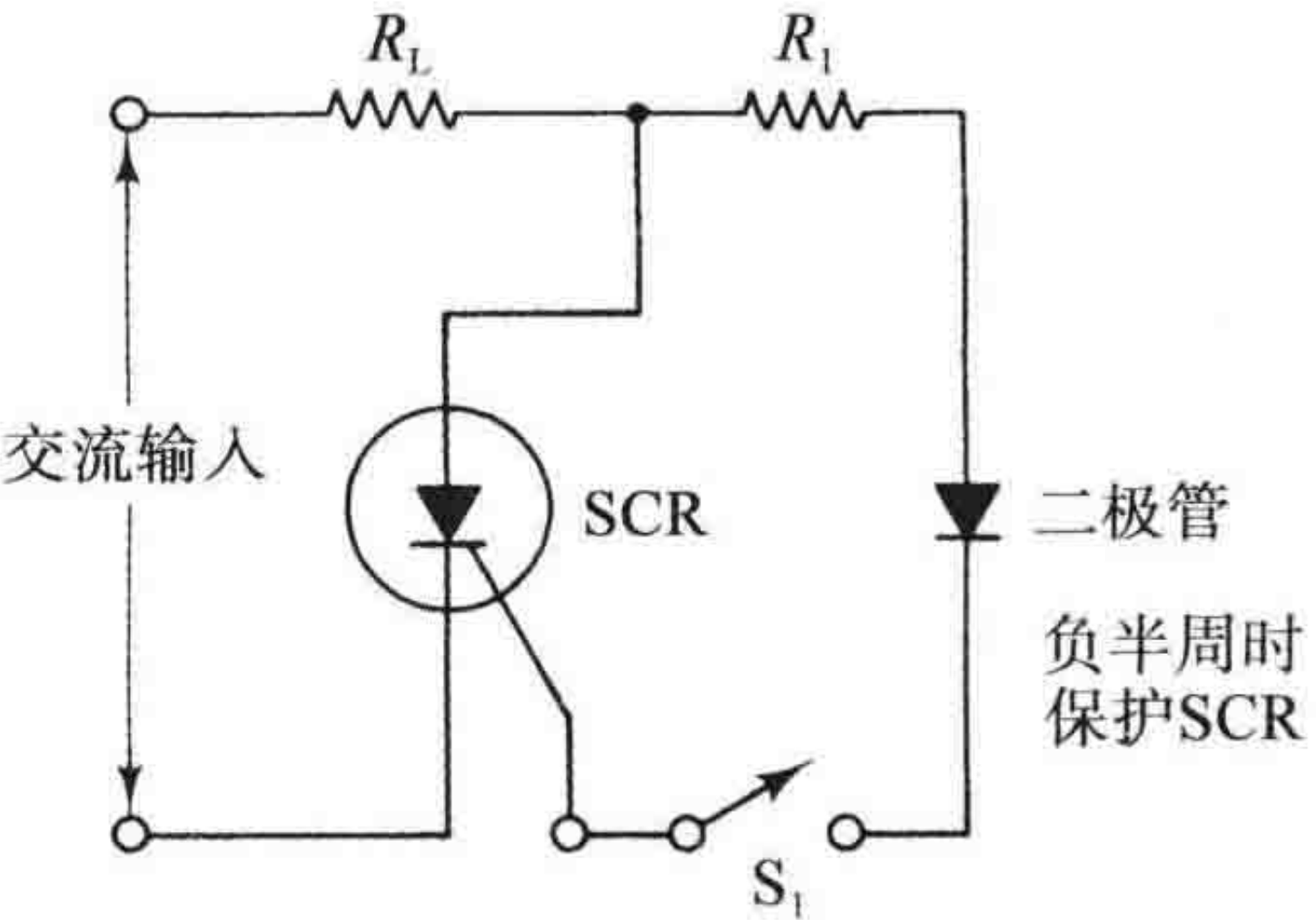


图 7-16 SCR 用于控制  $R_L$  上的电压（负载电阻）

7.4 断相继电器

改变三相感应电动机中任意两相的接线能使其反转，这称为反相。在电梯及其他工业操作中，当发生意外反相时，可能会导致设备损坏和人员伤亡。当熔断器熔断或者是在电动机运行中一条接线断开时，电动机将会在单相下继续运行，但是这会导致严重的过热。断相故障继电器和反相故障继电器可以保护电动机免于出现这些情况。

有电压传感和电流传感两类断相继电器。电压传感继电器接在线路的任意一点处，但是它只能检测连接点前面的非正常状态。电压传感具有检测非正常状态的优点，这与电动机的运行状态无关。因为选择继电器时只需考虑电动机的电压，所以它们应用起来十分方便。图 7-17 所示为线路侧监控电路。继电器安装在起动器前面，电动机不能反方向起动。然而，当断相故障出现在继电器和电动机之间时，电动机得不到它的保护。

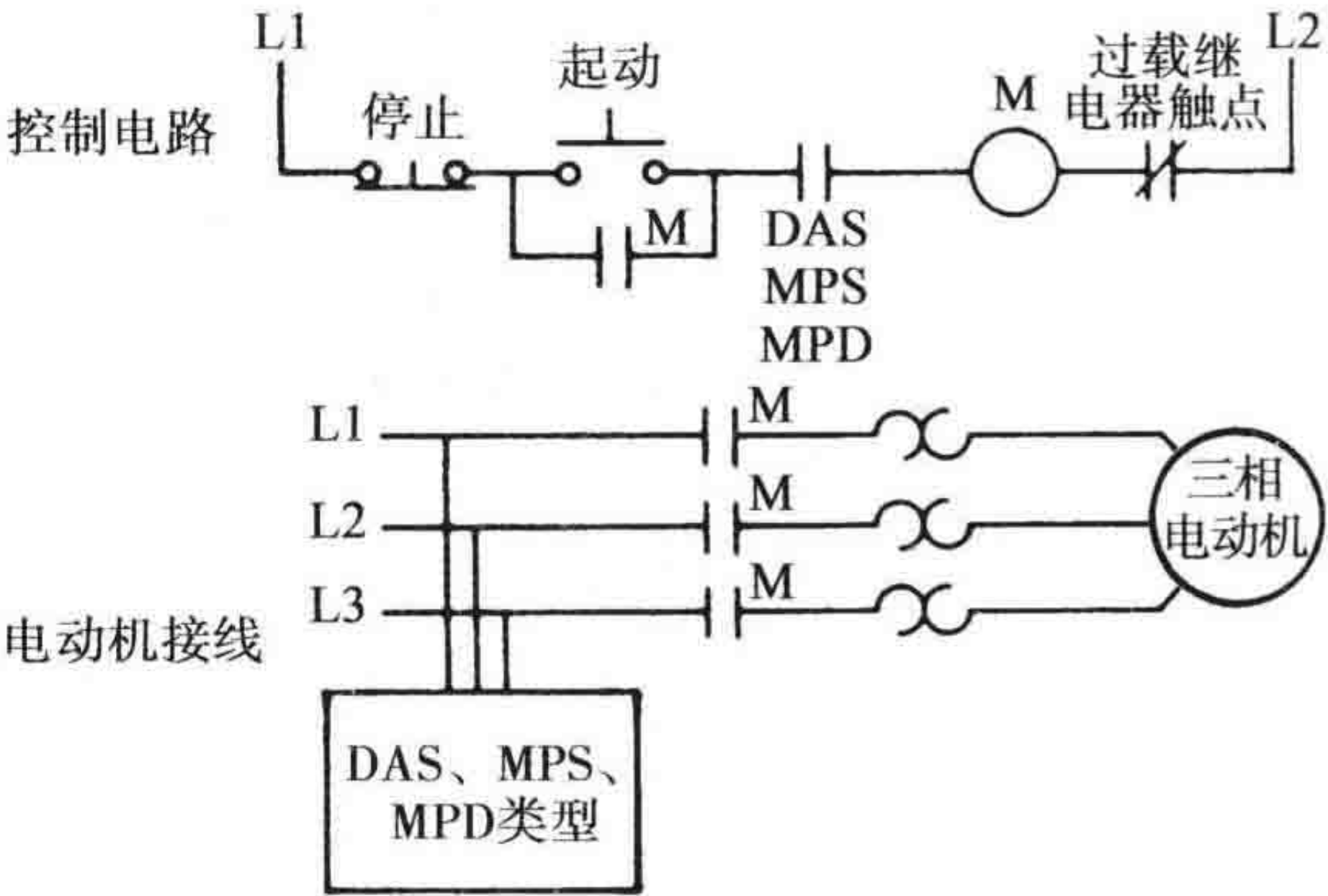


图 7-17 线路侧监控（Square D 产品）

断相继电器常用于控制分励脱扣断路器。所以，必须注意确保分励脱扣电路有足够的电压，图 7-18 所示为接线图。

当断线故障发生在 L2 或者 L3 上的时候，分励脱扣线圈通过控制继电器（CR）和断相继电器的触点（检测到断相故障后改变状态）从 L1 上获得电源。如果断相故障发生在 L1 上，CR 触点状态将会发生改变，分励脱扣线圈通过 CR 触点和断相继电器触点

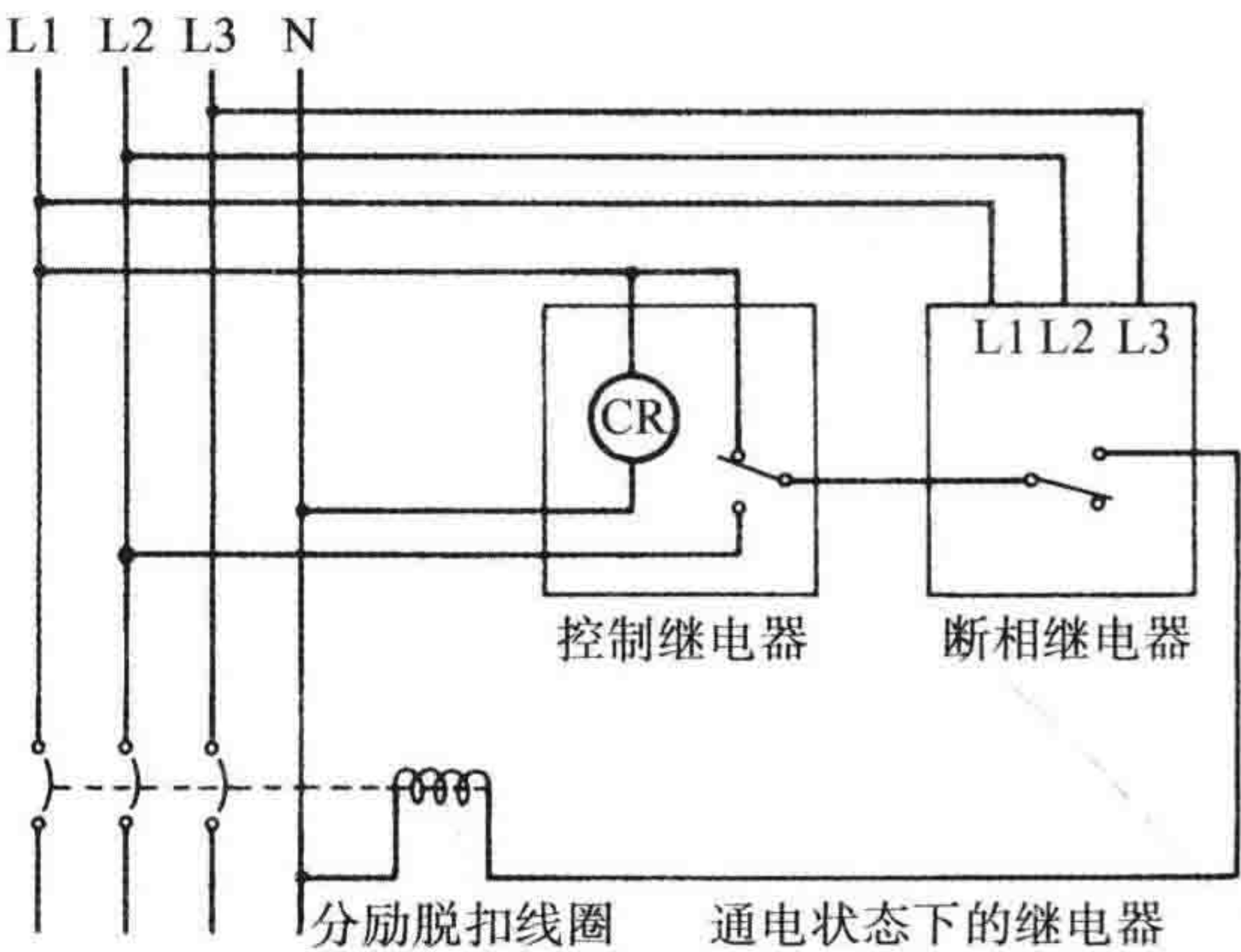


图 7-18 断相继电器与分励脱扣器的接口（Square D 产品）



从 L2 上获取电源。

如果控制继电器的触点、断相继电器的触点或者是分励脱扣线圈和电动机的额定电压值不一样，那么可以将控制变压器插在需要的地方。

负载侧监控如图 7-19 所示。继电器直接接到了电动机上，整个馈线都能得到保护。使用这种接线方式时，电动机在反向的时候可能会承受瞬时扰动。

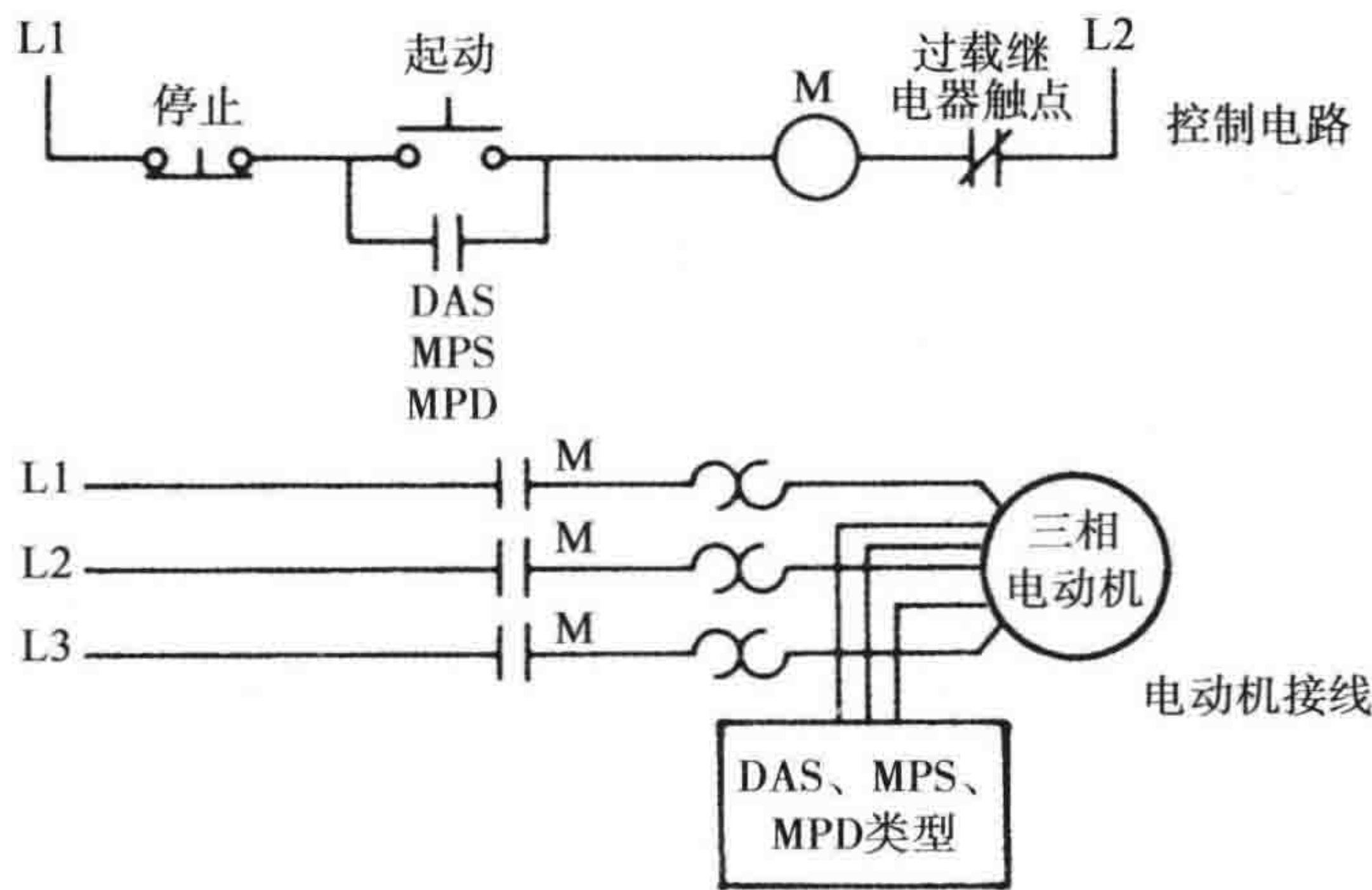


图 7-19 负载侧监控 (Square D 产品)

电流传感继电器需要 3 个外接的电流互感器。它们的大小必须能够满足电动机的满载电流。通过监测电流，电流传感继电器有一个能够更精确检测不平衡故障的优点。继电器的选择与电动机的电压无关，它需要一个 120V 的独立电源。

三线控制有必要借助电流控制来避免当发生断相或者反相时继电器循环打开和关闭的情况，参见图 7-20。因为这种继电器有电流传感特点，所以在检测到反向状态之前，负载首先必须有电流流过。这意味着这种继电器不能用于保护电动机类的驱动设备，不能够承受反向时的瞬时扰动。

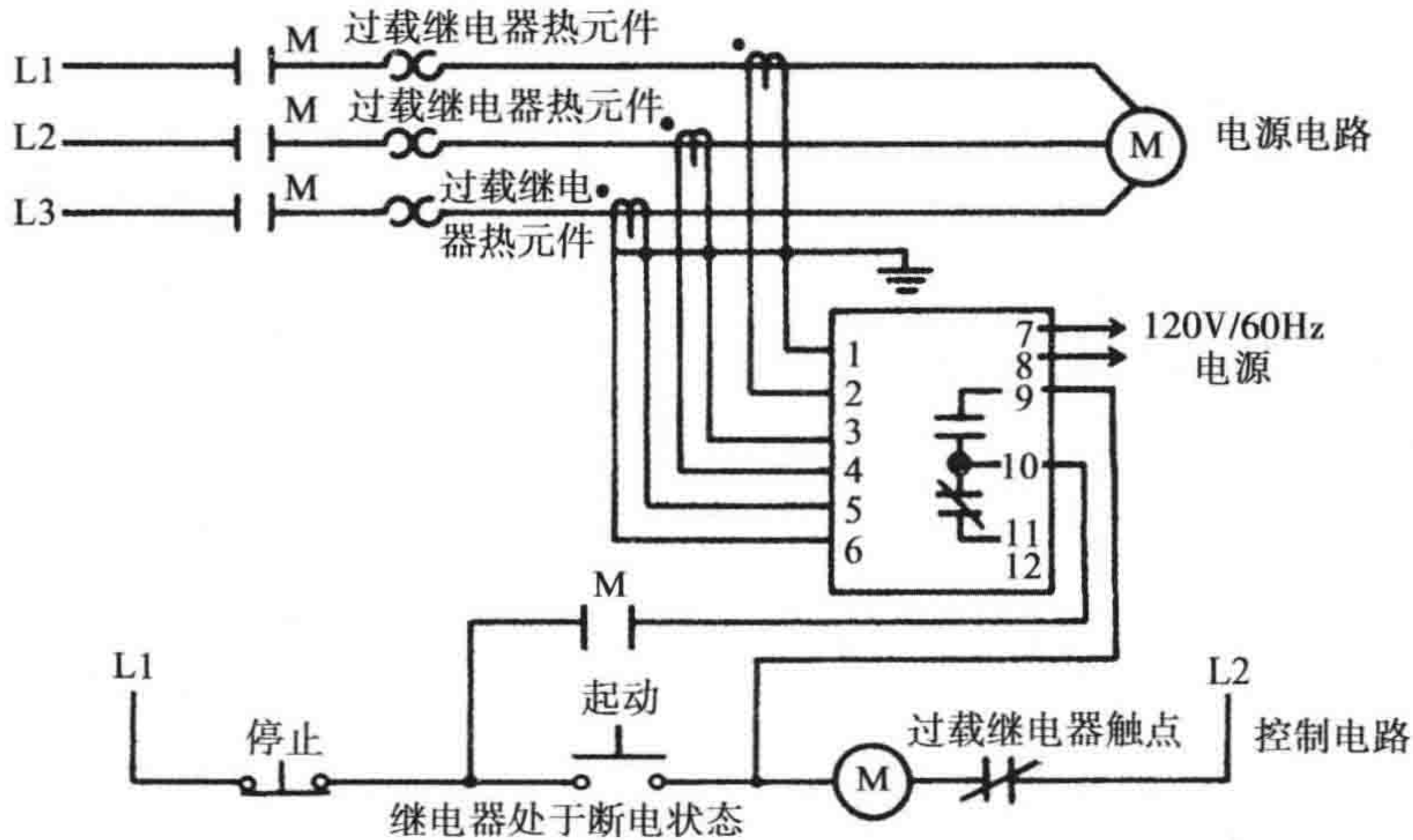


图 7-20 电流监控 (Square D 产品)

图 7-21 显示了 3 种断相继电器。这些继电器带隔离硬输出触点，这使其提供了可靠而精确的固态传感电路。NIPS 是兼有断相故障和欠电压保护的继电器，DAS 是断相继电器。Square D 公司指定使用 DAS 和 MPS 这种类型的继电器。



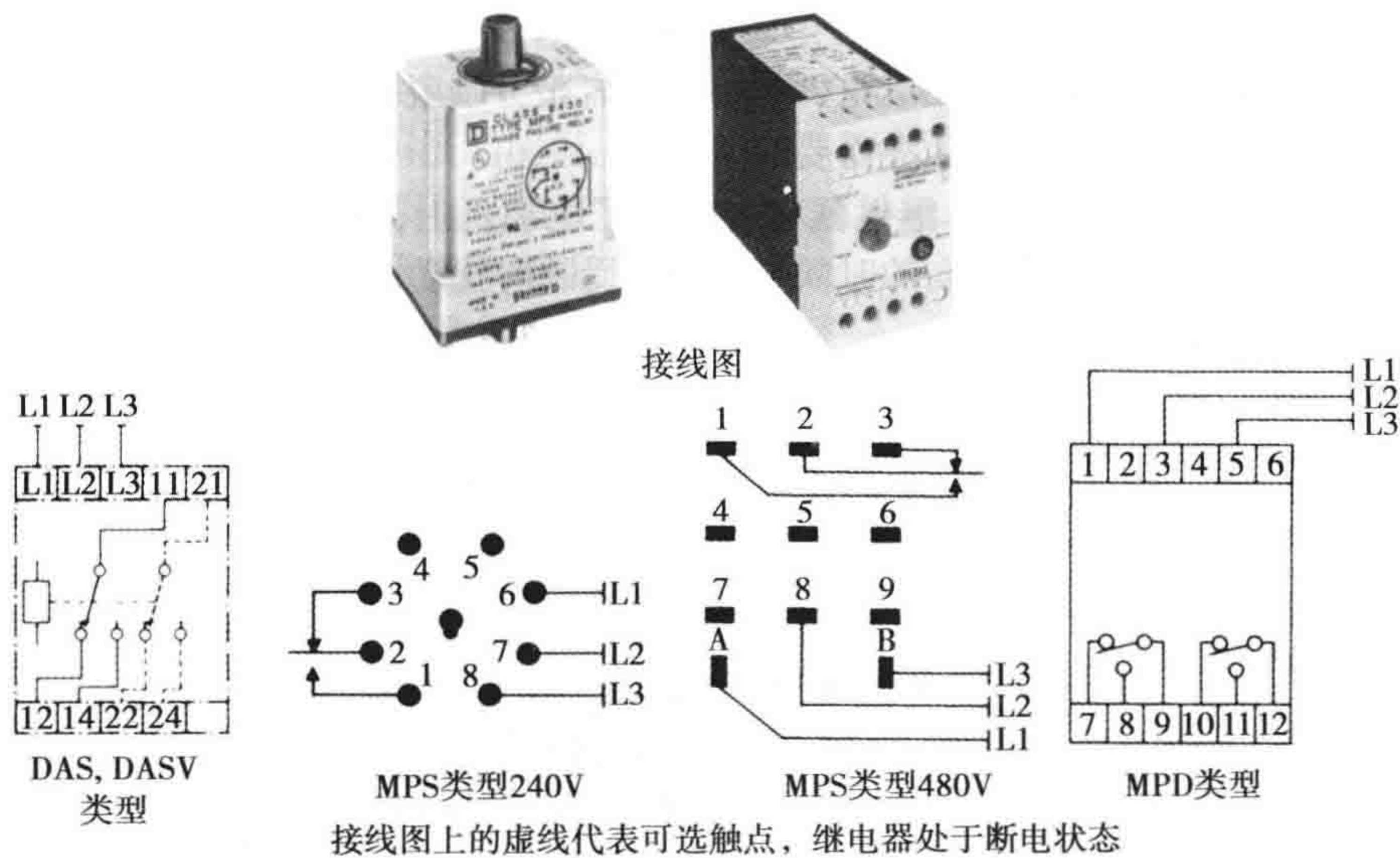


图 7-21 带接线图和触点接线的断相继电器 (Square D 产品)

7.5 固态监控继电器

固态监控继电器使用了带隔离硬输出触点的固态传感电路。这种类型的监控不仅精确而且可靠。图 7-22 所示为几种监控继电器的外壳，所有这些继电器在通电时都有 LED 指示。



图 7-22 固态监控继电器 (Square D 产品)

7.5.1 电压继电器

这种继电器可以监控交流单相电压和直流（极性独立的）电压，它具有单独调节吸合电压和释放电压的控制功能。当存在电源电压且监控电压高于吸合电压的设定值时，继电器得电。当切除电源电压或者是监控电压低于释放电压的设定值时，继电器失电。释放电压在吸合电压的 50%~95% 范围内可调。图 7-23 显示了在电路中继电器的连接方法以及触点的操作方法。

在机电型继电器中，吸合电压是指使继电器线圈得电，足以将衔铁拉动至铁心，使触点完全被衔铁吸合而闭合所需要的电压。在半导体或者固态类型的继电器中，吸合电压是指使晶体管或半导体装置刚好偏置得电或导通，从而降低了其发射极 - 集电极电阻或者是晶闸管和双向可控硅的正向导通电阻所需要的电压。

释放电压在机电型继电器和半导体固态继电器中意思一样。释放电压低于继电器被激励得电所需的电压。换言之，一旦通电，当电压在吸合电压和释放电压之间时，继电器将持续得电。然而，当电压低到电流无法产生足够的吸力使衔铁吸合时，衔铁就会被释放。在固态继电器中，这个值就是装置停止导通或者关闭的电压值。固态继电器没有运动的衔铁，因此，使电压监控继电

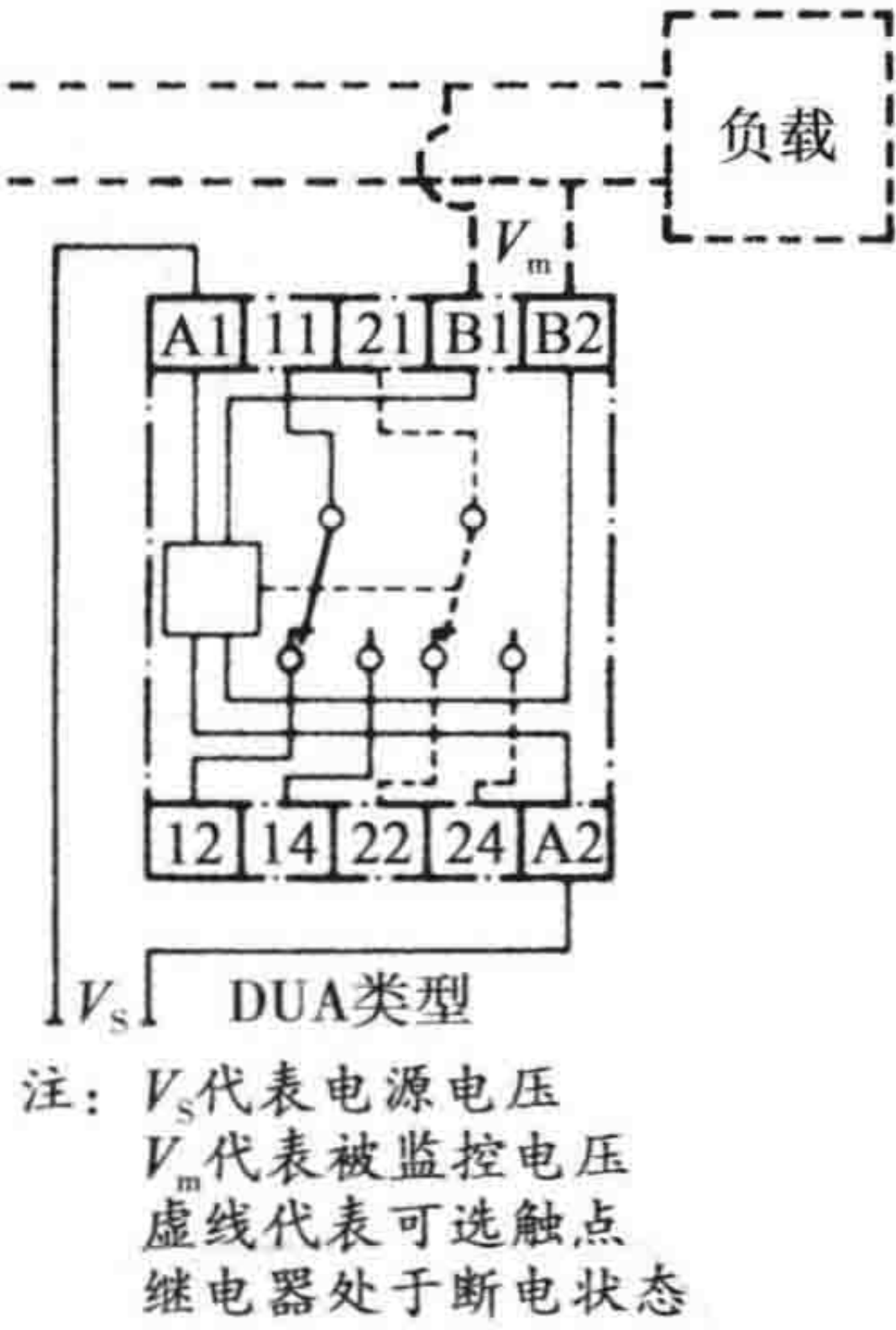


图 7-23 电压继电器 (Square D 产品)



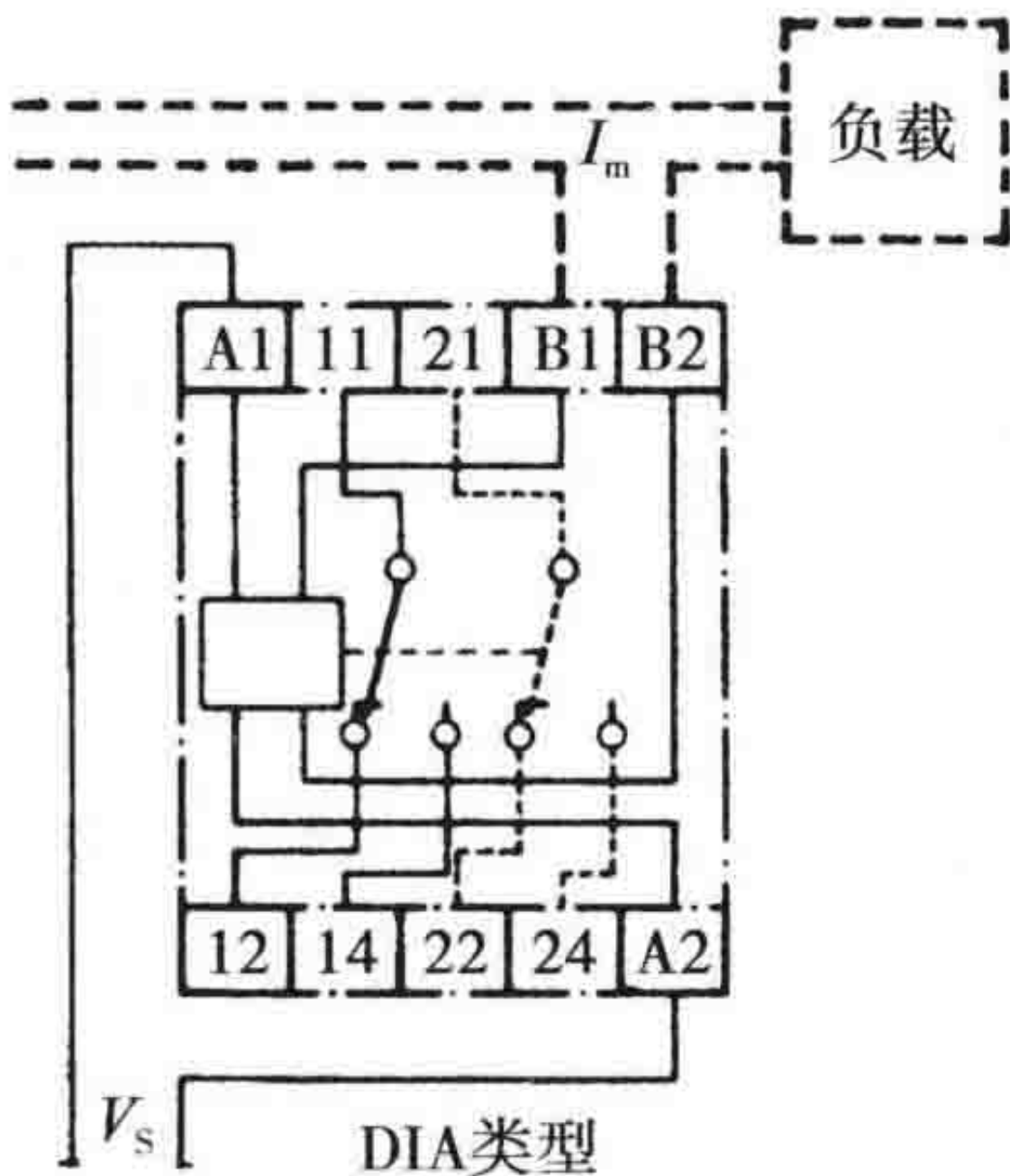
器到退出或者停止导通的电压差距很小，这也使得这种类型的继电器在操作计算机信号时很有用，它在数字控制逻辑电路中也非常有用。

7.5.2 电流继电器

电流继电器与电压监控继电器几乎相同，只不过它是用来监控电流变化的。它的连接方式有别于电压继电器（如图 7-24 所示）。这种继电器监控交流单相电流和直流（极性独立的）电流。它可单独控制和调节吸合电流和释放电流。当电源电压存在且监控电流高于吸合电流的设定值时，继电器得电。当电源电压切除或者是监控电流低于释放电流的设定值时，继电器失电。释放电流在吸合电流的 50%~95% 范围内可调。

7.5.3 过电压 / 欠电压继电器

这种继电器可以监控单相电压，而且不需要外加电源（见图 7-25）。过电压设定值在额定电压的 100%~110% 之间。欠电压设定值在额定电压的 80%~100% 之间。当电压在这两个设定值之间时，继电器得电。



$I_m$  代表监控电流，其他符号同图 7-23

图 7-24 电流继电器 (Square D 产品)

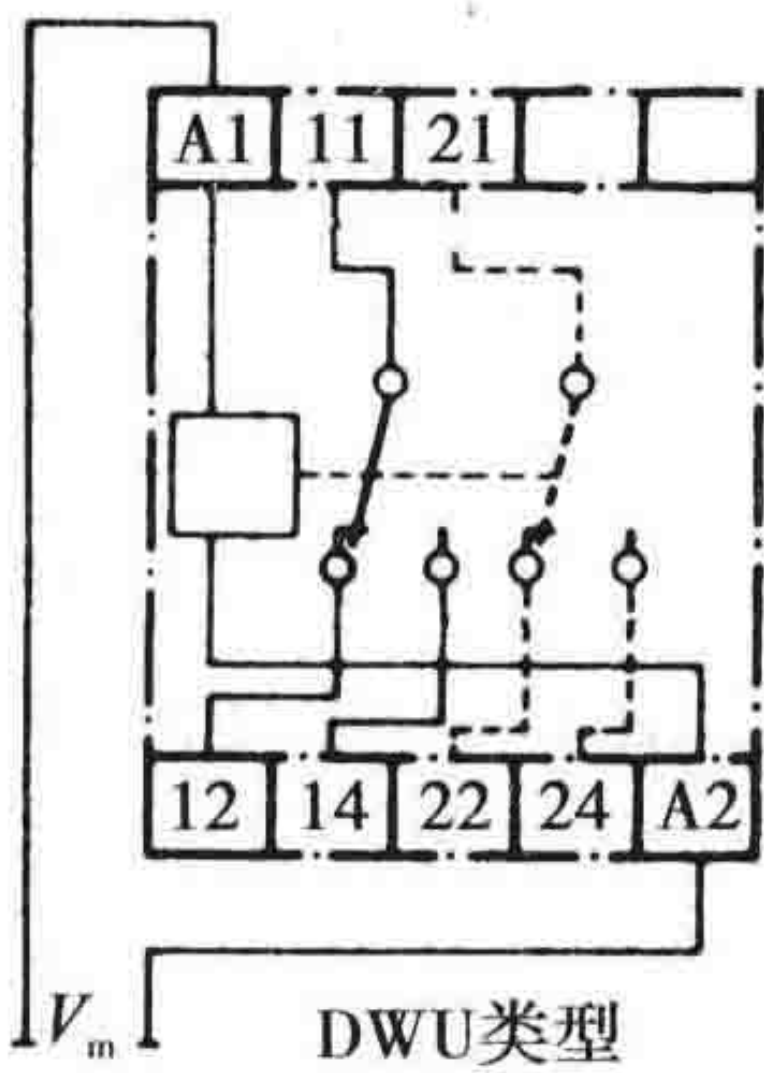


图 7-25 过电压 / 欠电压继电器 (Square D 产品)

**过零电流关断** 半导体继电器或固态继电器的特点之一是它们能够在交流负载电流的正弦波过零点时自动关闭。在通断感性负载时固态装置的这个特点是非常重要的。因为关断发生在电流处于正弦波的最低点时，这降低了电感反冲，避免在机电继电器触点处产生电弧。电感反冲增大了尖峰电压，可能会损坏半导体。

**过零电压接通** 零电压接通对于固态继电器是没有必要的。但是，将这个特点加在固态继电器上，有时可以大大延长某些类型负载的寿命。

7.6 固态继电器开关的类型

固态继电器可以实现 3 种类型的继电器开关，它们分别是瞬时接通型 (IO)、通用型 (US)，以及零开关型 (ZS)。每种类型的继电器都可用于正弦波的不同地方，而且都有很好的理由。负载类型——阻性、感性、电灯或者是这些类型的组合——决定了工作时所选择的继电器类型。

对于瞬时接通型继电器，一旦接入控制输入就马上接通。这意味着它可以在正弦波的任意点接通。然而，瞬时接通型继电器总是在电流经过正弦波的零点处关断（见图 7-26）。

通用型固态继电器在正弦波给定的时间段里接通（见图 7-26）。通用型继电器在正弦波



过零点或是峰值处不会接通，它只能在给定的时间段里接通。和其他两种基本类型的固态继电器一样，通用型继电器在电流过零处关断。

零开关型继电器在处理接通的冲击电流的时候很有优势，这常常与电路有关。这种类型的继电器监控负载电路，确保正弦波过零时关断。

7.6.1 开关继电器负载

继电器的设计应考虑负载性质，如感性负载、阻性负载以及这两种负载的组合形式。固态继电器的优点之一是它能在正弦波过零点处接通或关断。有些装置如果能在这些点开关比其他装置会有更多的优点，例如，电灯的阻性负载在温度低时电阻较小，在温度高时电阻较大，如果它们在低温时工作，能流过很大的电流（至少比额定电流高），这样会缩短它们的寿命。在过零点处接通时，它给灯丝加热的时间，缓慢改变电阻阻值，并把冲击降低到可控点，从而延长了电灯的寿命。零开关还能消除噪声尖峰。这意味着零开关型继电器适用于灯及其他类型的阻性负载。

零开关不一定适用于其他类型的负载。感性负载需要用瞬时接通型的继电器，这是由电动机、变压器、螺线管等感性负载的性质决定的。感性负载的电压和电流相位相差近  $90^\circ$ ，这意味着电流滞后于电压近  $90^\circ$ ，而且当施加起动电压时没有感抗来加强对瞬间电流的抑制。也就是说，在电压正弦波过零点时会流过很大的电流。对感性负载来说，除了过零点以外的其他任何点开关都适合使用。

由电灯组成的负载是阻性负载，但是由于低温时灯丝的电阻低，所以冲击电流很大（高达额定电流的 15 倍），如此高的冲击电流会对继电器造成很大的损害。这里主要关心的是起动时的冲击电流。这意味着对于这种类型的负载使用零开关型继电器有一些优势。然而，在选择合适的继电器进行工作时，也要考虑冲击电流。

当开关电路中需要同时存在阻性负载和感性负载时，最好使用通用型继电器。这种类型的继电器不在过零点和正弦波的峰值点通断。因此，它经常被选来控制组合负载。

7.6.2 热敏继电器

热敏继电器通过外接的热敏电阻器进行操作，参见图 7-27。当外接电源接通后，热敏电阻的阻值低于  $1.9\text{k}\Omega$ （阻值范围在  $1.5\sim2.3\text{k}\Omega$  之间）时，继电器得电。当切除电源或者是热敏电阻的阻值增加到高于  $3\text{k}\Omega$ （阻值范围在  $2.5\sim3.6\text{k}\Omega$  之间）时，继电器失电。

7.6.3 触点放大继电器

在触点没有足够额定电流和额定电压的地方可以使用触点放大继电器来投切负载，例如，线圈、螺线管或者是小型电动机。典型的例子就是气压式触点或者生产线缆机器的断线监视继电器（见图 7-28）。

7.6.4 负载监测和负载转换继电器

对于感应电动机类的负载可以通过合理选择固态电路进行监控。负载监测继电器和负载转换继电器如图 7-29 所示，它们通过监控感应电动机的负载来控制设备和生产流程。这些装置通过测量输入电压、电流、功率因数以及电动机内部损耗补偿来模拟电动机的实际输出功率。利用这些参数，可以持续计算出输出功率。对于感应电动机，电流随着输入电压的变

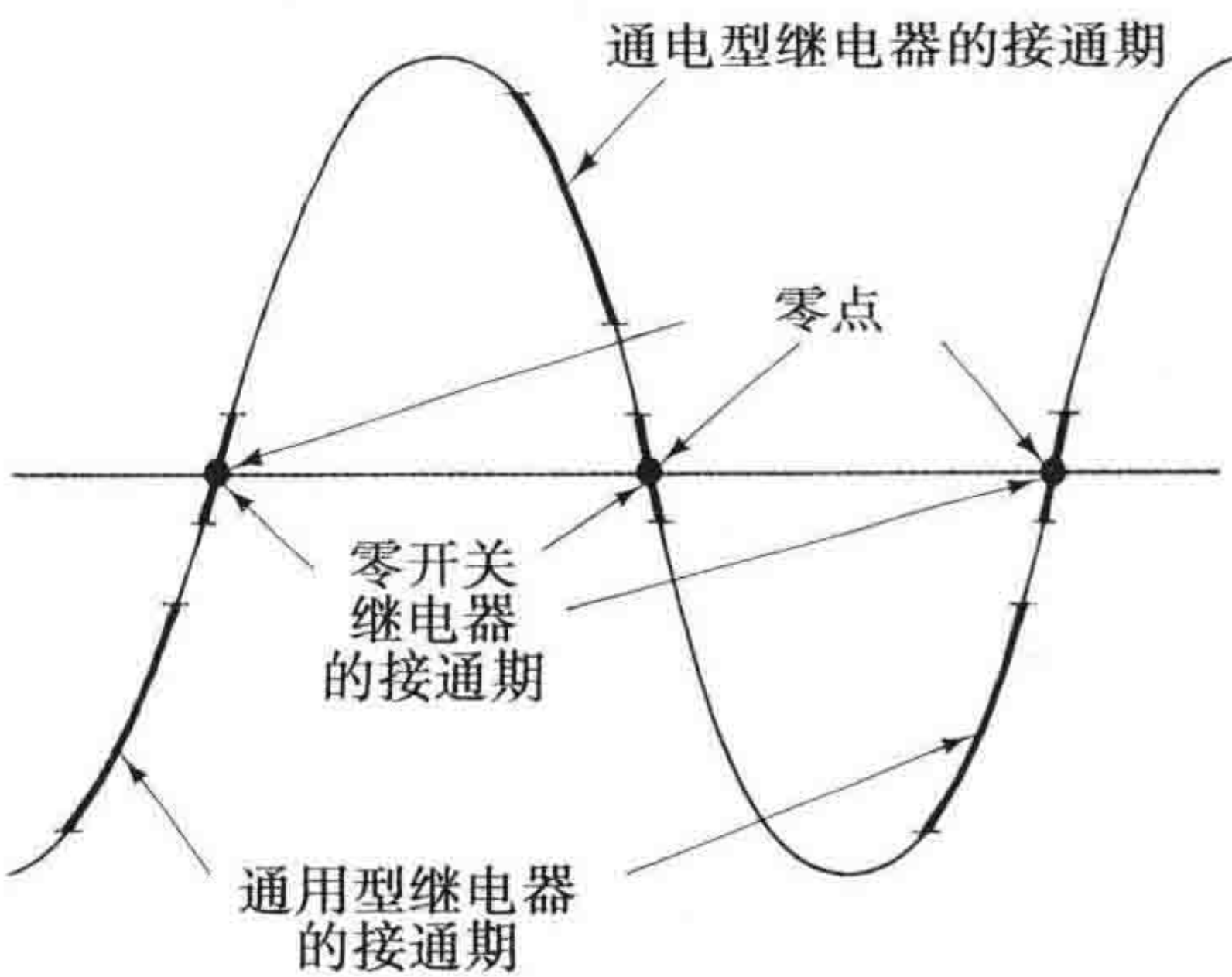
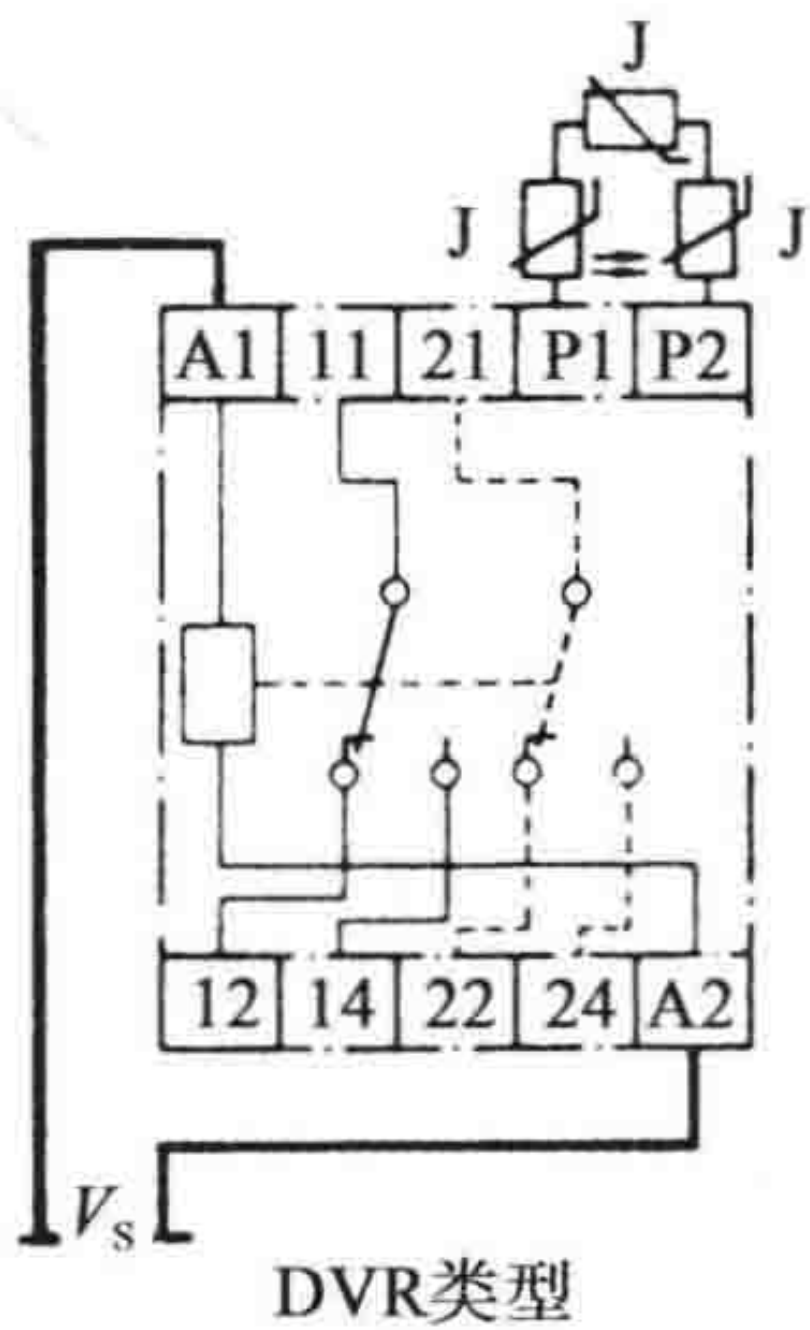


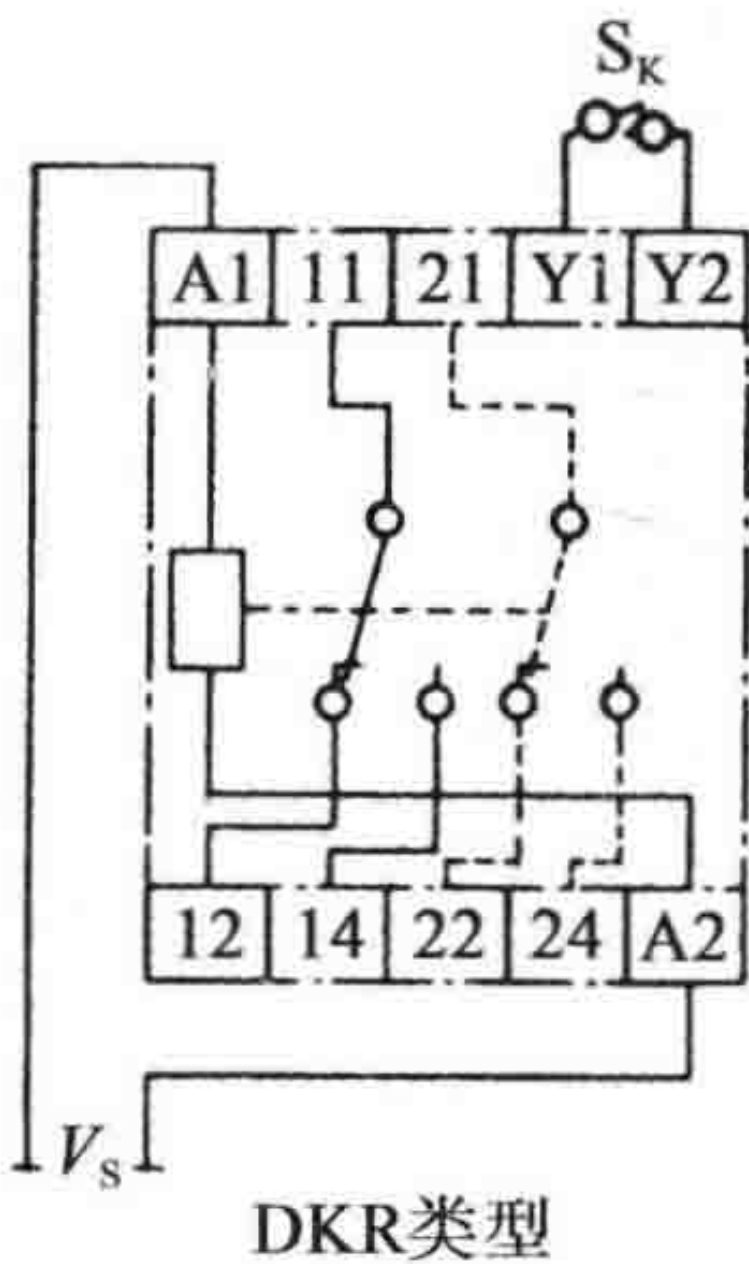
图 7-26 零开关和通用型继电器的接通期



化而变化。通过计算功率，负载继电器不会受到这些变化的影响，而且相对于只测量电流来说，它能在更大的负载范围内提供更好的精确度。有 3 种类型的继电器，第一种类型提供最大和最小跳闸点，第二种类型提供两个最大的跳闸点，第三种类型提供模拟电流输出。



J 代表外接热敏电阻，其他符号同图 7-23  
图 7-27 热敏继电器 (Square D 产品)



Sk 代表监控触点，其他符号同图 7-23  
图 7-28 触点放大继电器 (Square D 产品)

有 3 种类型的负载监测器：V 类型的负载监测器用于监控电动机负载，并且有两个独立的输出继电器来指示超过一个的跳闸点；V3 类型，有两个输出继电器对应于最大和最小跳闸点；V4 类型，有两个输出继电器对应于两个最大跳闸点，两个独立的安装在装置表面的指轮按钮，用于选择跳闸点。负载监测器有两个单刀双掷 (SPDT) 继电器输出来指示超出最大或者最小跳闸点，这个装置也可以根据起动延时、响应延时、电动机损耗补偿来进行调整。指示通电的 LED 可以表示最大跳闸点以及最小跳闸点。

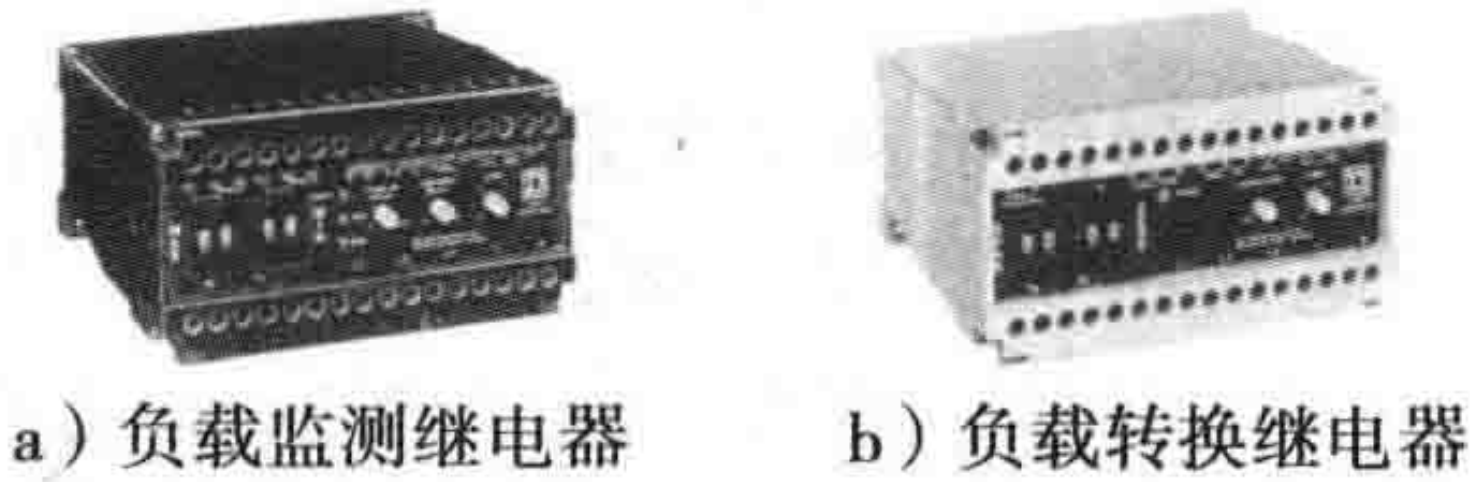


图 7-29 负载监测和负载转换继电器 (Square D 产品)

7.6.5 典型应用

V3 类型的负载监测器或者是 G 类型的负载转换器都可以用在碎石机 - 传送带上 (如图 7-30 所示)。通过负载转换器可以监控碎石机负载，并将输出信号反馈到一个变频设备上以驱动控制装料传送电动机。这样通过改变传送机的速度就能维持碎石机上的负载恒定。如果不用变频设备，那么负载监测器起动和停止传送电动机只能在预先限定的范围内保持碎石机上的负载恒定。

V 型的负载监测器有一个分辨率很高的显示器，足以显示机器上的破损工具，参见图 7-31。在监测电钻工作时，当钻头钝了，电钻就会停止工作。这延长了工具的寿命，并且能够防止破损问题。通过持续监控风扇电动机的功率损耗，可以获得系统精确的运行状态。V 型负载监测器监控三相电动机上的负载，控制并保护风扇系统，参见图 7-32。

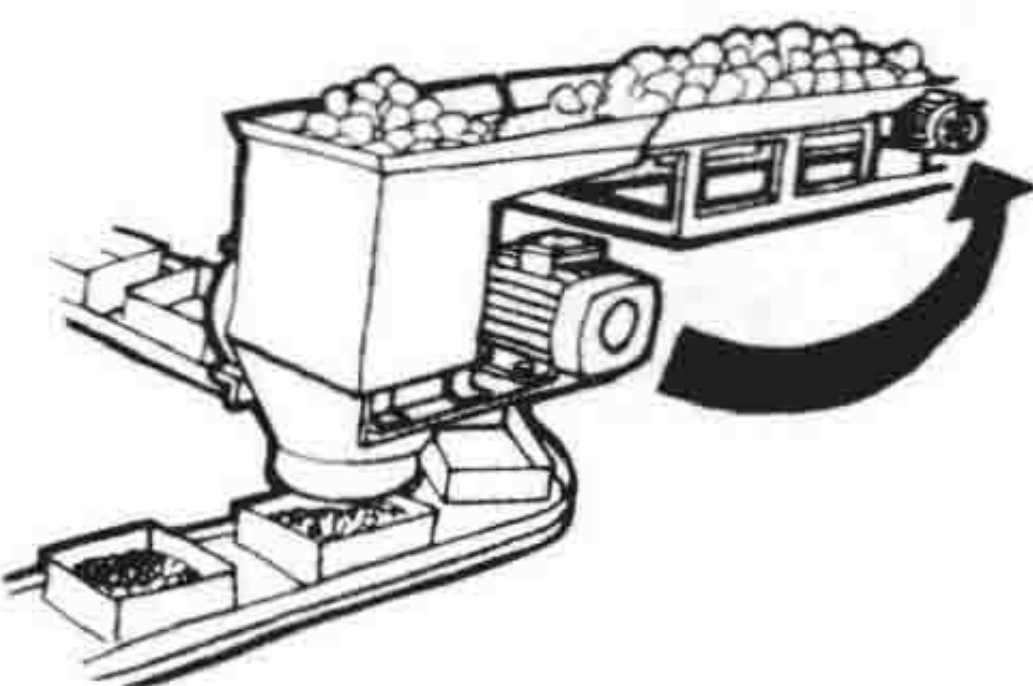


图 7-30 带负载监测器的碎石机 - 传送带 (Square D 产品)



图 7-31 机床负载监测器

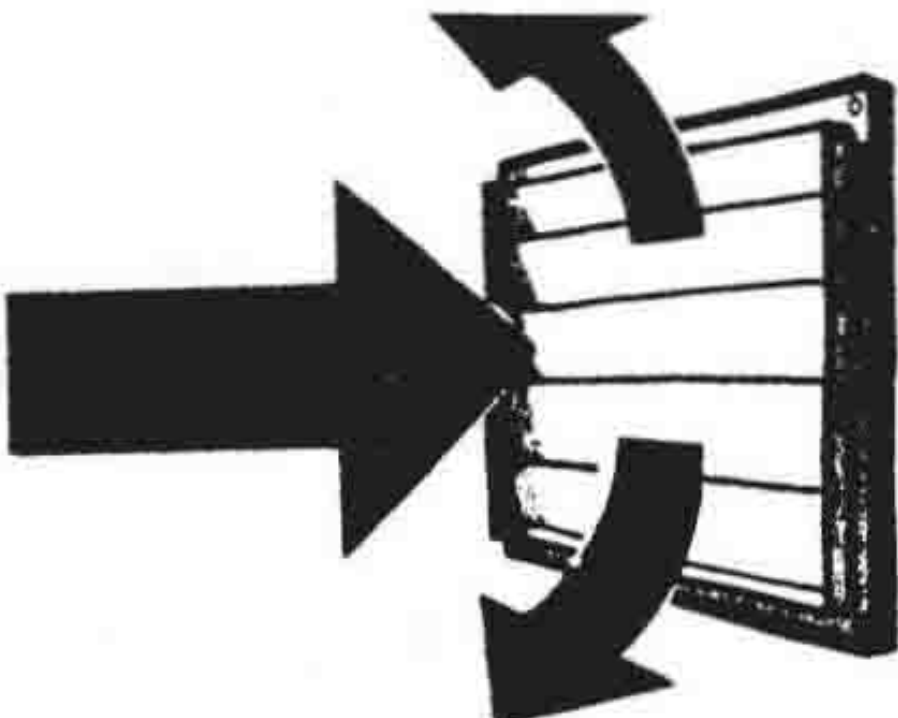


图 7-32 负载监测器感应闭合的风挡 (Square D 产品)



负载监测器可以同时监控加热、通风以及空调系统中可能发生的 4 种常见问题：破损或者松弛的风扇皮带、闭合的风挡、堵塞的过滤器以及电动机（比如线圈）上的机械磨损。

图 7-33 显示了负载监测器和负载转换器接入电路的方式。图 7-34 显示了 V3 类型单元的输出，它可以在超过负载限制时断开电动机。在三线控制策略中，带报警信号和继电器的运行控制电路接线图如图 7-34 所示。

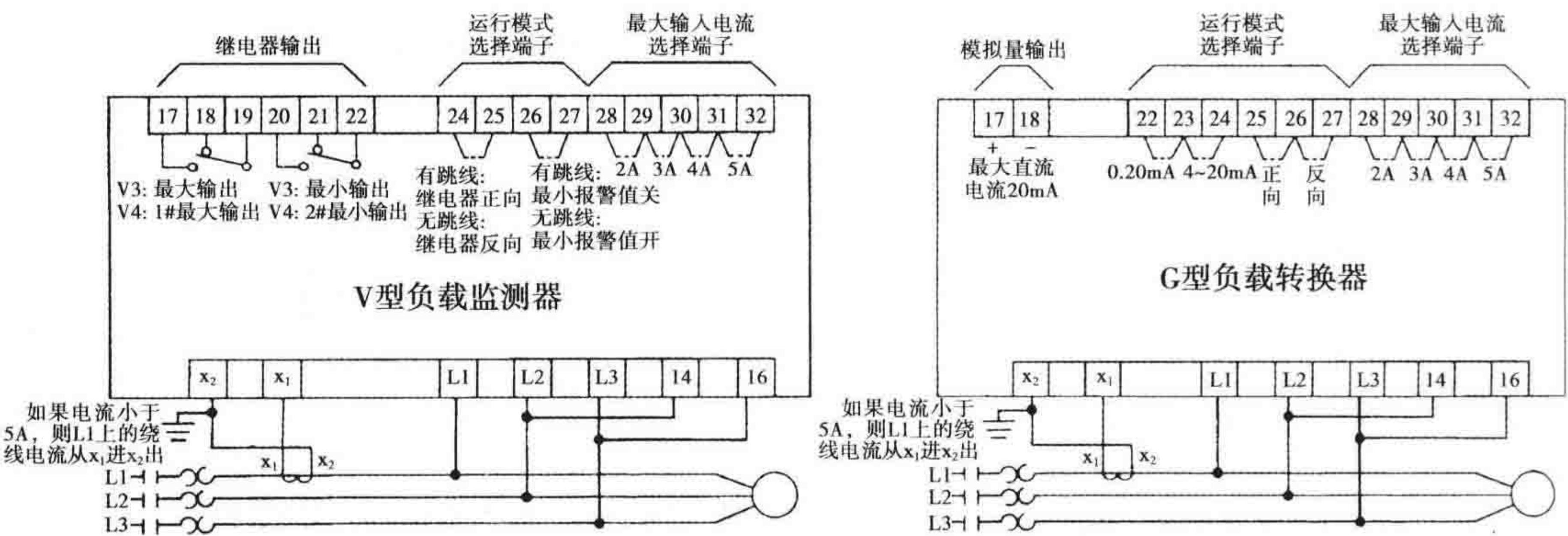


图 7-33 负载监测器和负载转换器接线图 (Square D 产品)

典型的负载转换器监控电动机负载，并产生与电动机负载成比例的 0~20mA 或者 4~20mA 的输出信号。装在设备表面的集成调节装置滤除了输入信号中因短时变动引起的输出信号。设备表面上有两个独立的指轮按钮用于选择范围内的零点。输出信号可以选为随负载的增加而增加或者随负载的增加而减少。LED 指示设备是否通电。

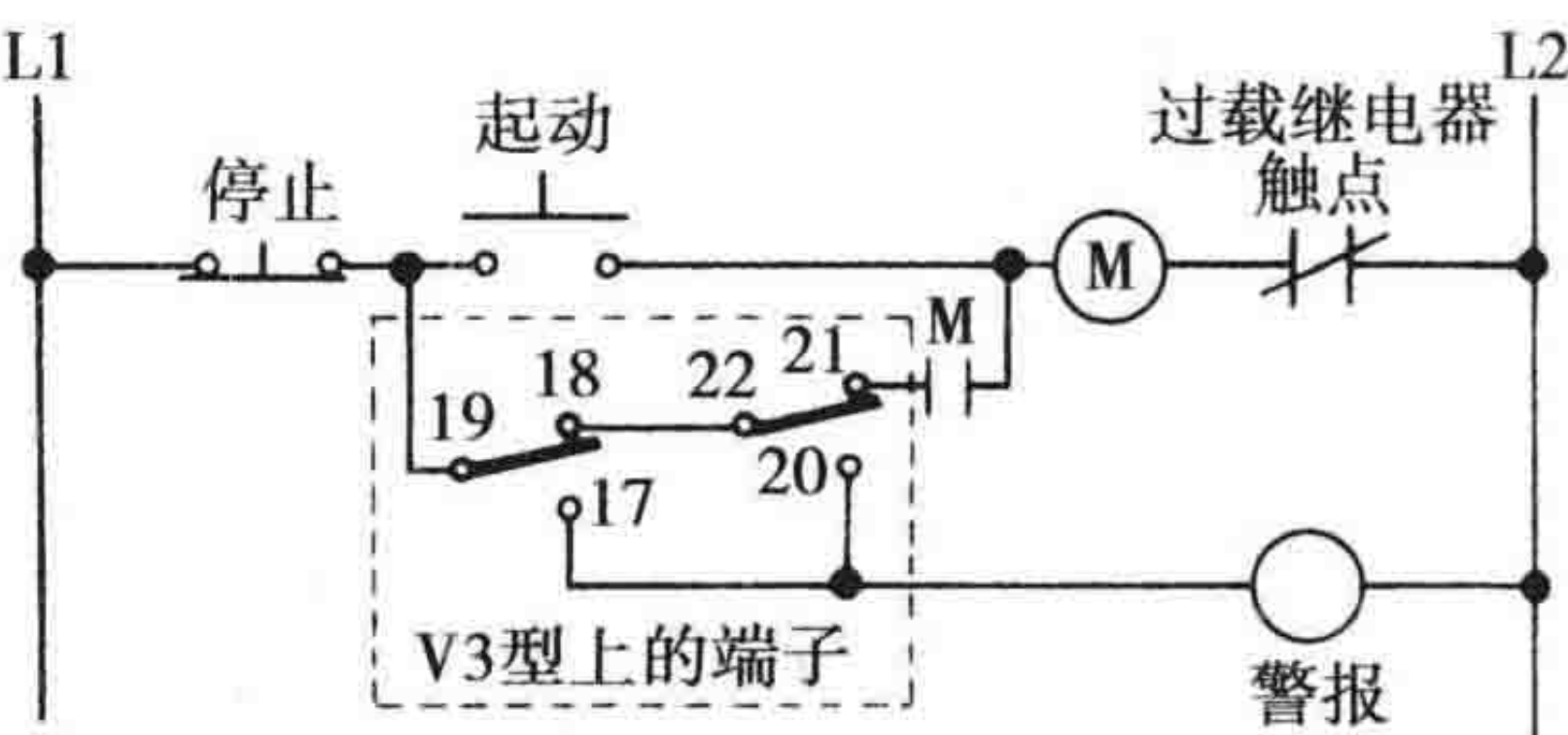


图 7-34 三线控制和负载监测器电路 (Square D 产品)

7.7 热过载继电器

热过载继电器通过将电流转换成电阻单元的热量来检测电动机的电流。使用产生的热量可以打开与起动线圈相串联的常闭触点，从而断开电动机（如图 7-35 所示）。

热过载继电器既简单又廉价，它能非常有效地保护电动机运行在过电流状态。因为大多数电动机最易损的部分就是线圈绝缘，这种绝缘易受过高温度的损害，因此这种保护是合理的。

作为电动机的热模型，热过载继电器在电流较大时跳闸时间较短，这和电动机在电流较大时能在较短的时间里达到其温度限制是一样的。环境温度较高时，热过载继电器的跳闸电流更小，反过来，在特定的环境温度下允许电动机在最大容量下运行（如果电动机和过载继电器有相同的环境温度）。

跳闸后，热过载继电器不会复位，直到其冷却下来。这使得电动机在能够重新起动前冷却下来。

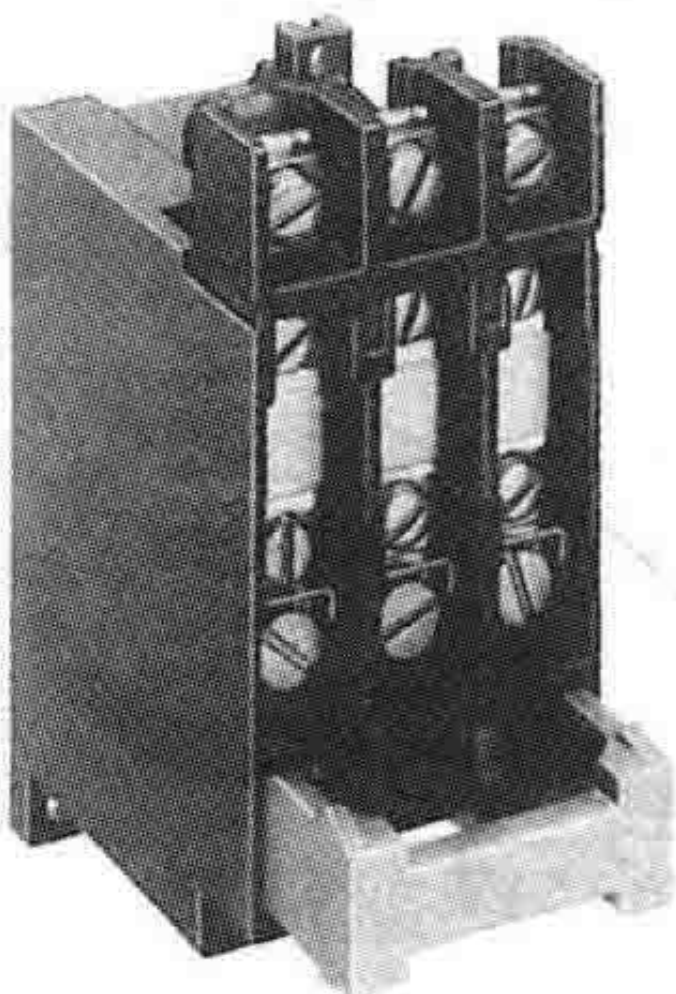


图 7-35 带可更换触点的热过载继电器 (Square D 产品)



### 7.7.1 热过载继电器的类型

有两种类型的热过载继电器：双金属片型和易熔合金型。在某些类型中，双金属片型有两种：无补偿型和环境温度补偿型。对于易熔合金和双金属片这两种类型而言，有单热元件和三热元件过载继电器。图 7-36 所示为标准跳闸易熔合金热单元的剖面图。除了少数几种类型，所有的热过载继电器都包含一个自动跳闸复位机构，即使复位杆受阻或者处于复位状态，它也允许继电器在过载情况下跳闸。这种机构也能防止控制电路触点重新合上，直到热过载继电器和电动机都冷却下来。

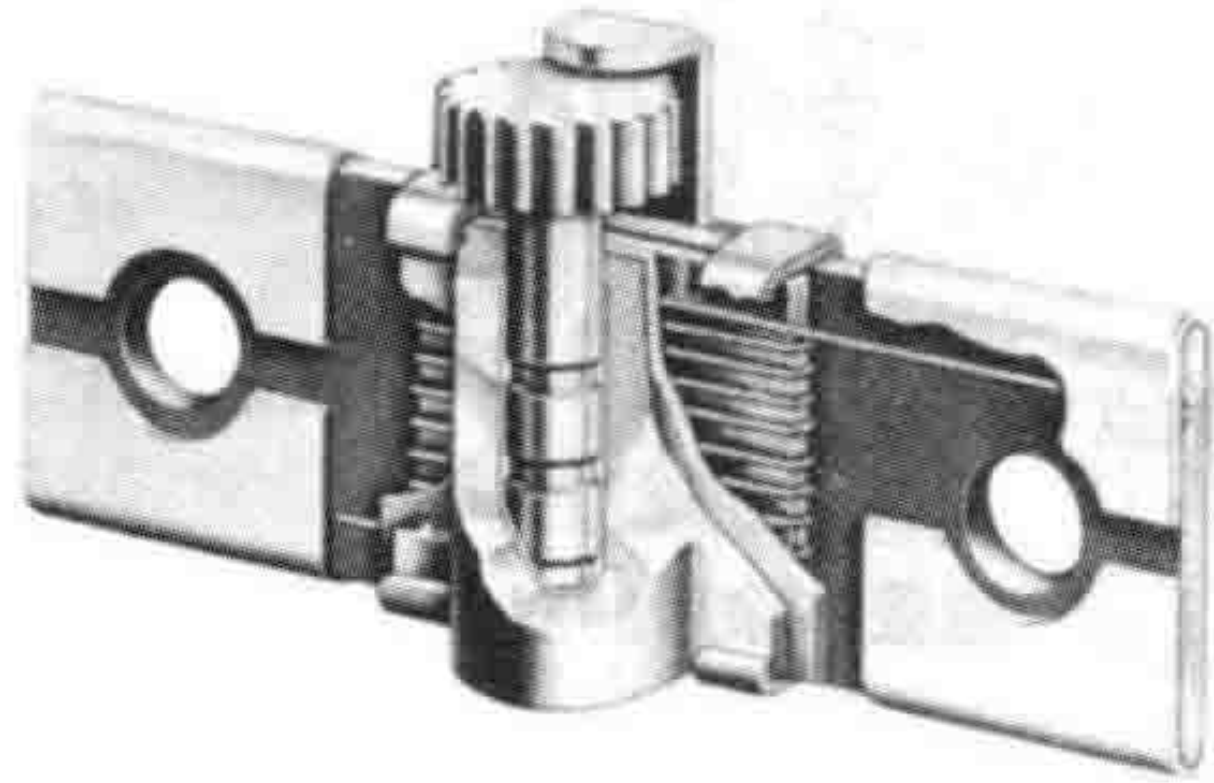


图 7-36 标准跳闸易熔合金热单元的剖面图 (Square D 产品)

### 7.7.2 手动复位易熔合金型过载继电器 (NEMA 标准)

手动复位易熔合金过载继电器使用一种易熔合金焊料，电动机电流在发热器件上产生的热量可以使其熔化，导致继电器跳闸。断电后，在电动机和继电器冷却一段时间，焊料凝固，过载继电器即可手动复位。

反复跳闸不会影响原有的整定指标。易熔合金的热过载单元有 3 种设计：快速跳闸、标准跳闸、缓慢跳闸。快速跳闸（分类 10）单元用于保护密封的水泵以及其他可以短时间承受堵转电流的电动机，或者是堵转电流占满载电流很小比例的电动机。标准跳闸（分类 20）单元提供了普通电动机全压起动加速到大约 7s 的跳闸特性。缓慢跳闸（分类 30）单元提供普通电动机全压起动加速到大约 12s 的跳闸特性。电动机的起动时间应该适当延长。

#### 过载继电器的分类名称

- 分类 10 电流为额定电流的 600% 时，继电器在 10s 或更短的时间内动作。它用于密封式电动机、潜水泵或者起动时间较短的电动机。
  - 分类 20 电流为额定电流的 600% 时，继电器在 20s 或更短的时间内动作。
  - 分类 30 电流为额定电流的 600% 时，继电器在 30s 或更短的时间内动作。
- 普通应用应使用分类 20 的热过载继电器。

### 7.7.3 双金属片过载继电器 (NEMA 标准)

双金属片过载继电器用在远程控制或者是控制设备难以达到的地方。当电动机自动重起会对工作人员产生危险的时候，建议使用三线控制。

通常，双金属片继电器用于自动复位。制造商提供手动复位的继电器，但是在实际应用中可以调整为手动复位或者自动复位。当使用手动复位时，电动机和热过载元器件在复位前要有一段冷却时间。

### 7.7.4 温度补偿

在一些过载继电器上有环境温度补偿（如图 7-37 所示）。这些继电器具有无补偿双金属片型热继电器的所有特点。另外，外加的双金属元件能维持恒定的跳闸电流，一种类型的继电器温度在  $-20^{\circ}\text{F} \sim +165^{\circ}\text{F}$  ( $1^{\circ}\text{F} = \frac{5}{9}^{\circ}\text{C}$ ) 之间，另一种类型的继电器在  $-4^{\circ}\text{F} \sim +131^{\circ}\text{F}$  之间。跳闸电流在额定跳闸电流的 85%~115% 范围内可调。25A 和 45A 的标配继电器有单刀双掷开关触点。常开触点可以用于报警电路，而且其连线必须和常闭触点的极性一样。触点不可替换。



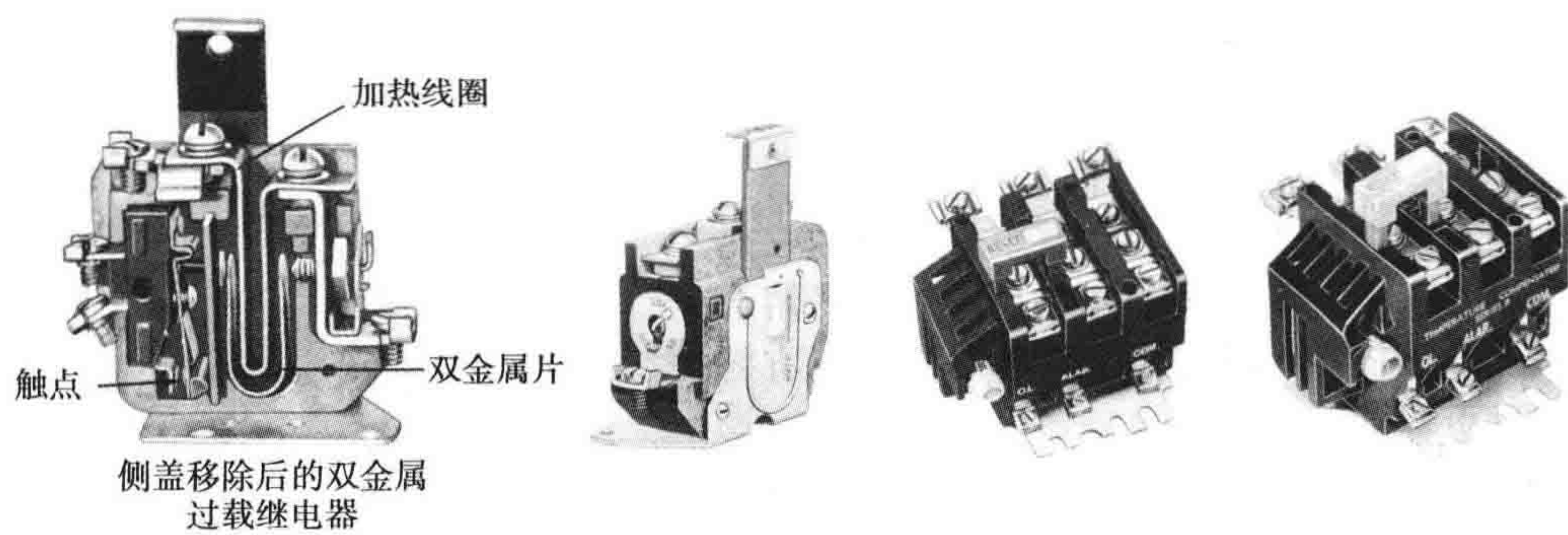


图 7-37 双金属片型过载继电器（Square D 产品）

**保护水平** 保护水平是指跳闸电流的额定值与额定电流之间的关系。保护水平用百分比表示，它是跳闸电流额定值与电动机额定电流之比然后乘以 100。为完成电动机需要完成的工作，阅读热过载继电器制造商的说明书（通常在目录的后面以表格的形式列写说明），以确保选择了合适的热单元。

任何过载继电器中都不包括热单元。它们需要单独选择、订购、标价。理想情况下，应该根据每个起动器或过载继电器的说明书选择热单元。如果要和控制器一起订购热单元，应该根据说明目录、所订购的控制器类型以及铭牌上电动机的额定电流来选择它们。如果在订购热单元的时候不知道电动机的额定电流，那么可以使用表 7-1 所示的结果进行近似选取。

- 1. 确定电动机的功率和电压。
- 2. 根据表 7-1 确定近似的额定电流。
- 3. 用近似的额定电流替换实际铭牌上的满载电流。

热过载继电器的环境温度补偿曲线如图 7-38 所示。

表 7-1 基于功率和电压的热单元的近似选取<sup>①</sup>

电动机功率 (hp)	电动机额定电流					
	三相				单相	
	200V	230V	450V	575V	15V	230V
$\frac{1}{20}$	0.39	0.34	0.17	0.14	1.30	0.65
$\frac{1}{12}$	0.55	0.48	0.24	0.19	1.90	0.95
$\frac{1}{8}$	0.74	0.64	0.32	0.26	2.60	1.30
$\frac{1}{6}$	0.90	0.78	0.39	0.31	3.24	1.62
$\frac{1}{4}$	1.22	1.06	0.53	0.42	4.40	2.20
$\frac{1}{3}$	1.52	1.32	0.66	0.53	5.47	2.74
$\frac{1}{2}$	2.07	1.80	0.90	0.72	7.45	3.73
$\frac{3}{4}$	2.88	2.50	1.25	1.00	10.1	5.07
1	3.68	3.20	1.60	1.28	12.6	6.31
$1\frac{1}{2}$	5.18	4.50	2.25	1.80	17.2	8.59
2	6.67	5.80	2.90	2.32	21.4	10.7



(续)

电动机功率 (hp)	电动机额定电流					
	三相				单相	
	200V	230V	450V	575V	15V	230V
3	9.66	8.40	4.20	3.36	29.1	14.5
5	15.4	13.4	6.68	5.35	42.9	21.4
7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	22.6	19.6	9.82	7.86	58.4	29.2
10	29.7	25.8	12.9	10.3		36.3
15	43.6	38.0	19.0	15.2		49.4
20	57.4	49.9	24.9	20.0		
25	70.9	61.7	30.8	24.7		
30	84.3	73.3	36.7	29.3		
40	111	96.4	48.2	38.5		
50	137	119	59.6	47.6		
60	163	142	70.8	56.6		
75	201	175	87.6	70.0		
100	265	230	115	92.0		
125	327	284	142	114		
150	389	338	169	135		
200	511	445	222	178		

来源：Square D 公司

① 仅在电动机额定电流未知时使用。对很多四极、单速、正常转矩、60Hz 的电动机来说，可以按照上表提供的近似额定电流选择热单元的跳闸电流为额定电流的 100%~125%。由于不同制造商和类型的电动机的额定电流存在差异，因此，这样的选择可能并不合适。热单元的选择应该基于电动机铭牌上的额定电流以及利用率。如果有需要的话，在最开始安装的时候，应对近似选择的热单元重新核实和校正。

注意：这些电流不能用于选择熔断器、断路器或者线径，参见 NEC 规范表 430—148 到 430—150。对 208~220V 的电动机，用 230V 栏对应的数据。对 440V 和 550V 的电动机，分别用 460V 和 575V 栏对应的数据。

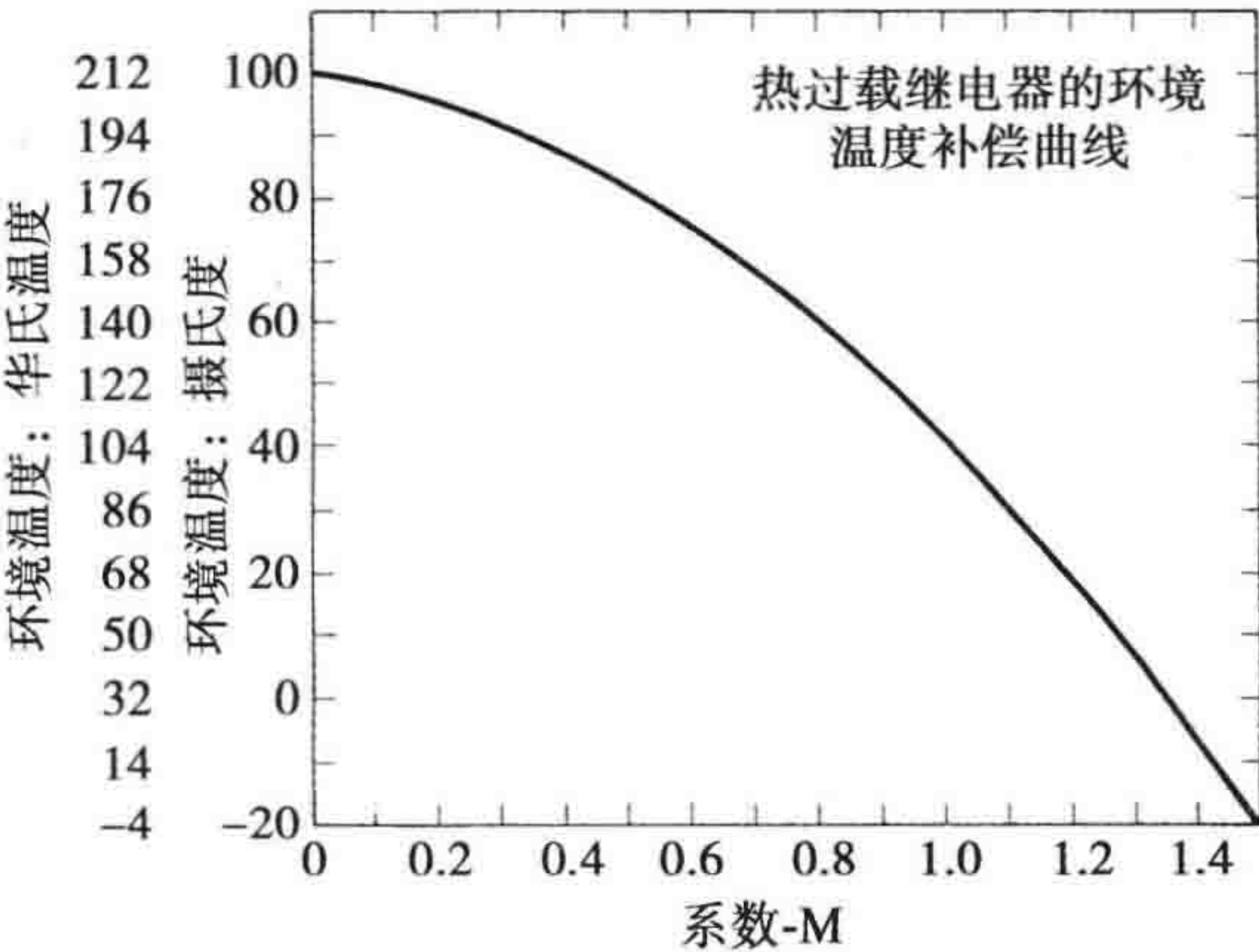


图 7-38 热过载继电器的环境温度补偿曲线

**安装热单元** 在操作电动机之前，永远要确定起动器中是否安装着正确的热单元。应该始终需要安装热单元，安装热单元时要保证从起动器的正面可以读出它们的分类名称（见图 7-39）。安装易熔合金热单元时应确保按下复位按钮时，棘爪部件与棘轮齿良好咬合。起



动器和热单元的表面应该是干净的。要确保热单元的安装螺钉牢固可靠。

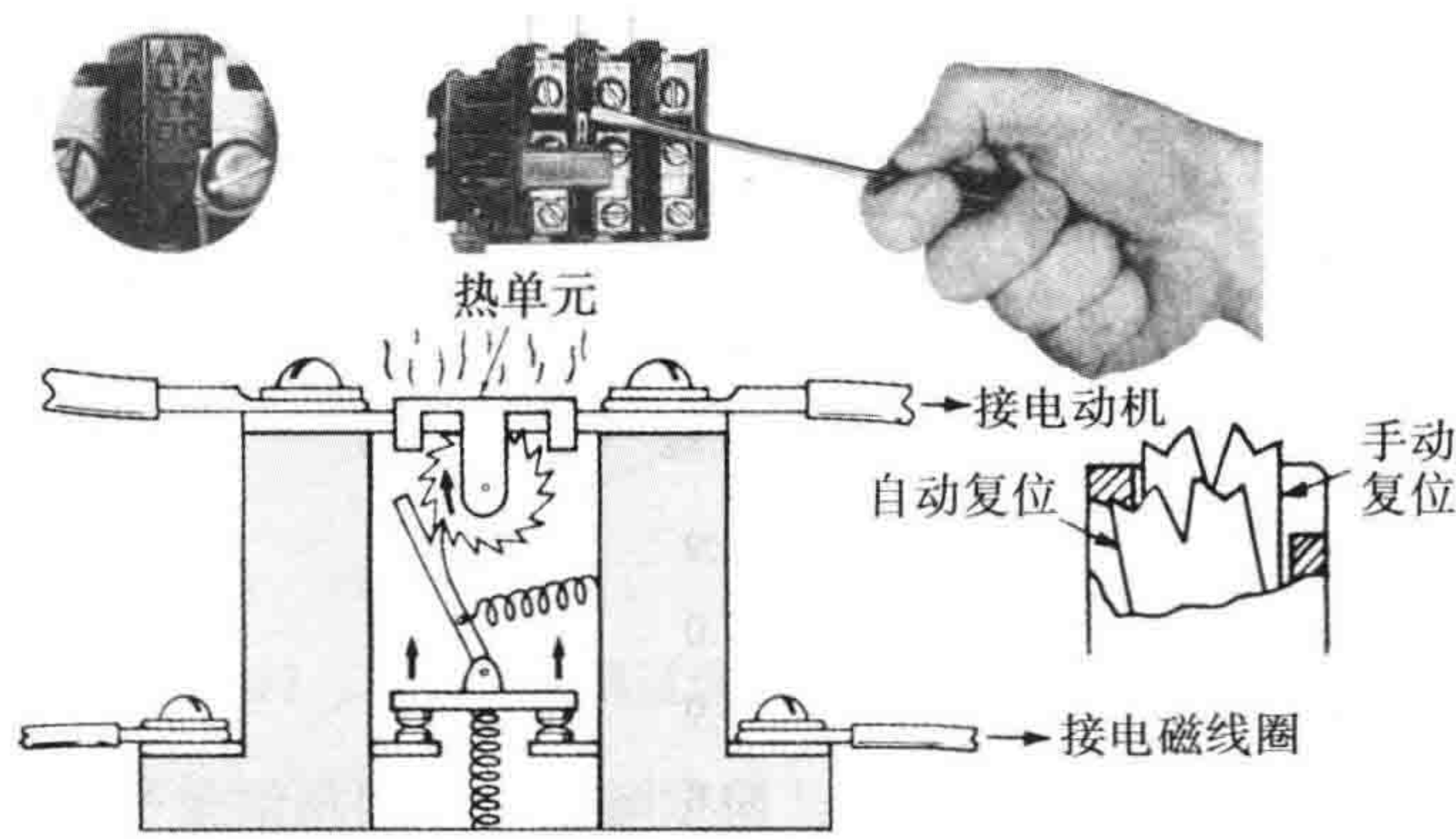


图 7-39 易熔合金过载继电器的操作

7.8 电磁继电器和电动机

继电器是很多控制电路和指示灯电路必要的组成部分。在设计方面，它们和接触器相似，但结构上通常略简单，所以它们流过的电流较小。

电磁接触器通常用于起动多相电动机、笼型电动机或者是单相电动机。接触器可以安装在主电路的熔断器和电动机间任何一个方便安装的地方。线径小的控制线缆可以接在接触器和控制点之间。

可以通过限时过载继电器来保护电动机免于长时间过载，它们在起动和运行期间是可以操作的。继电器动作的延时时间足够长，以保证起动电流过大和瞬时过载时不会跳闸。

在制冷或者空调系统中，用于工业冷凝装置的压缩机通常由基于加热原理操作的金属开关来保护。这个开关就是一个内置的电动机过载保护装置，它可将电动机绕组温度限制在安全值内。这种开关或电动机保护装置虽然结构简单，但它包含了必要的双金属开关机构，它们永久地与电动机电路串联安装在电路中（见图 7-40）。

当电动机过载或者失速时，电流较大，所以电动机绕组中会产生过多的热量。位于电动机内部的保护装置受控于通过它的电动机电流和电动机温度。当温度由于电流过大而超过设定值，断开电动机电路时，双金属元件需要校准；当温度下降时，保护装置自动复位并复原电动机电路。

电动机绕组继电器

如图 7-40 所示，电动机绕组继电器放在热过载保护装置的后面，它通常包括在单相电动压缩机单元中。这种继电器是一种电磁装置，可以接通和断开通向起动绕组的电路。一组常闭触点与电动机起动绕组相串联（见图 7-40）。

电磁线圈与电动机的辅助绕组串联。当电动机起动绕组和运行绕组通电几毫秒后，电动机开始加速，然后在辅助绕组中感应出足够的电压使电流流过继电器线圈。

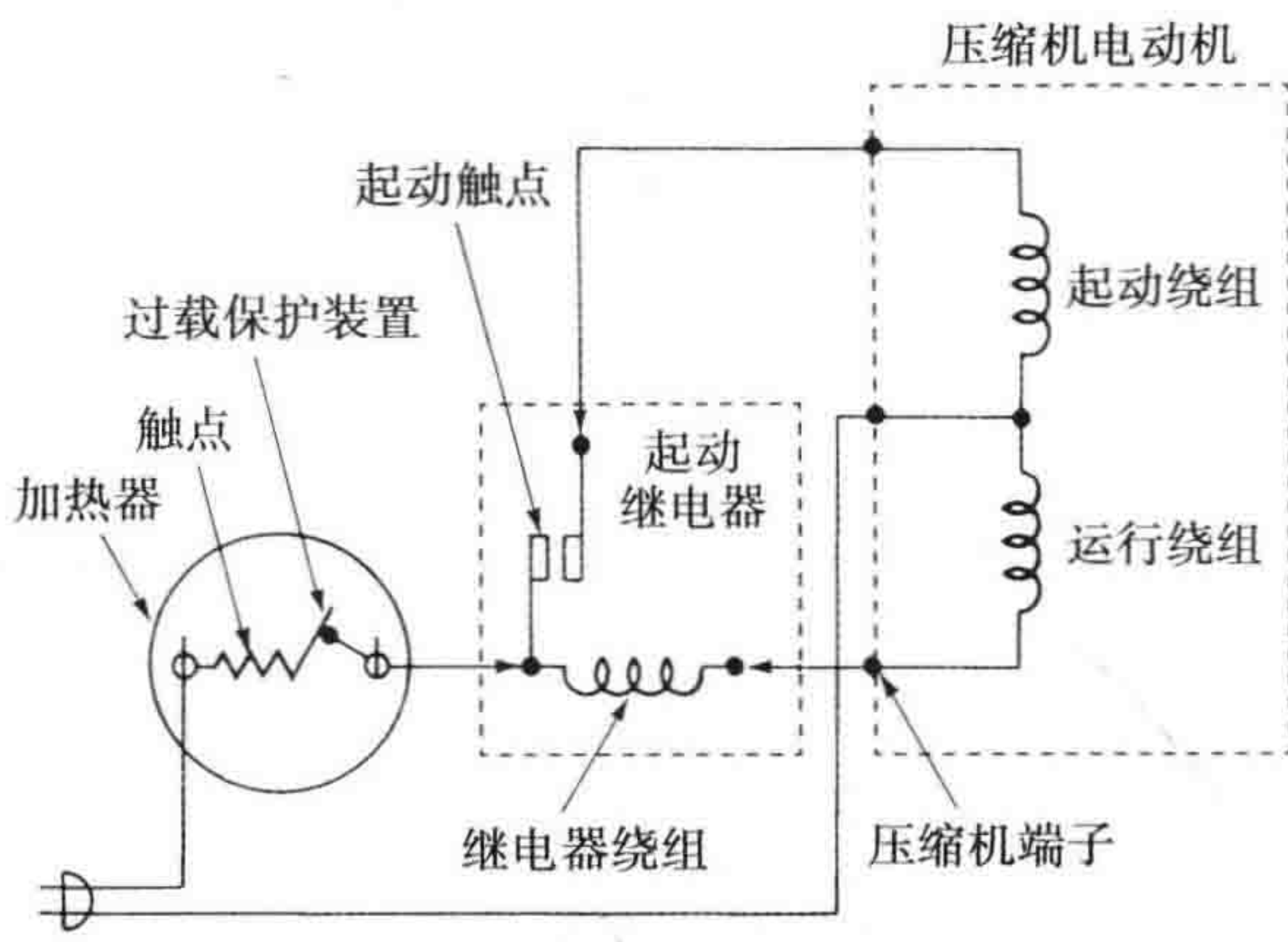


图 7-40 带起动继电器的家用冰箱电路



线圈中电流产生的磁力足以吸合受弹簧力作用的衔铁，这样就会以机械方式打开继电器起动触点。随着起动触点的断开，起动绕组从电路中切除。电动机继续运转，此时电动机仅含有运行绕组。当控制触点打开，切断电动机电源后，继电器衔铁会闭合起动触点。当控制触点重新闭合时，电动机可以再次起动，开始一个新的循环周期。

密封压缩机继电器是一种自动开关装置，当电动机达到运行速度后使用它可以断开电动机的起动绕组。在制冷和空调压缩机中，用到了两种类型的继电器，一种类型为电流继电器，另一种类型为电压继电器。

**电压继电器** 电压继电器通常用于大型工业空调压缩机中。这种压缩机可能有高达 5hp (1hp=746W) 的电容器起动和运转的电动机。继电器触点为常闭触点，继电器线圈与起动绕组并联。它感应电压的变化。起动绕组的电压随电动机转速的增加而增大。当电压增大到指定的吸合电压值时，衔铁吸合，继电器触点断开，起动绕组断电。开关动作后，在起动绕组中仍会感应到足够的电压以使继电器线圈持续通电，而且保持继电器的起动触点断开。当电源断电后，电压降为零。这意味着线圈失电，起动触点复位 (见图 7-41)。

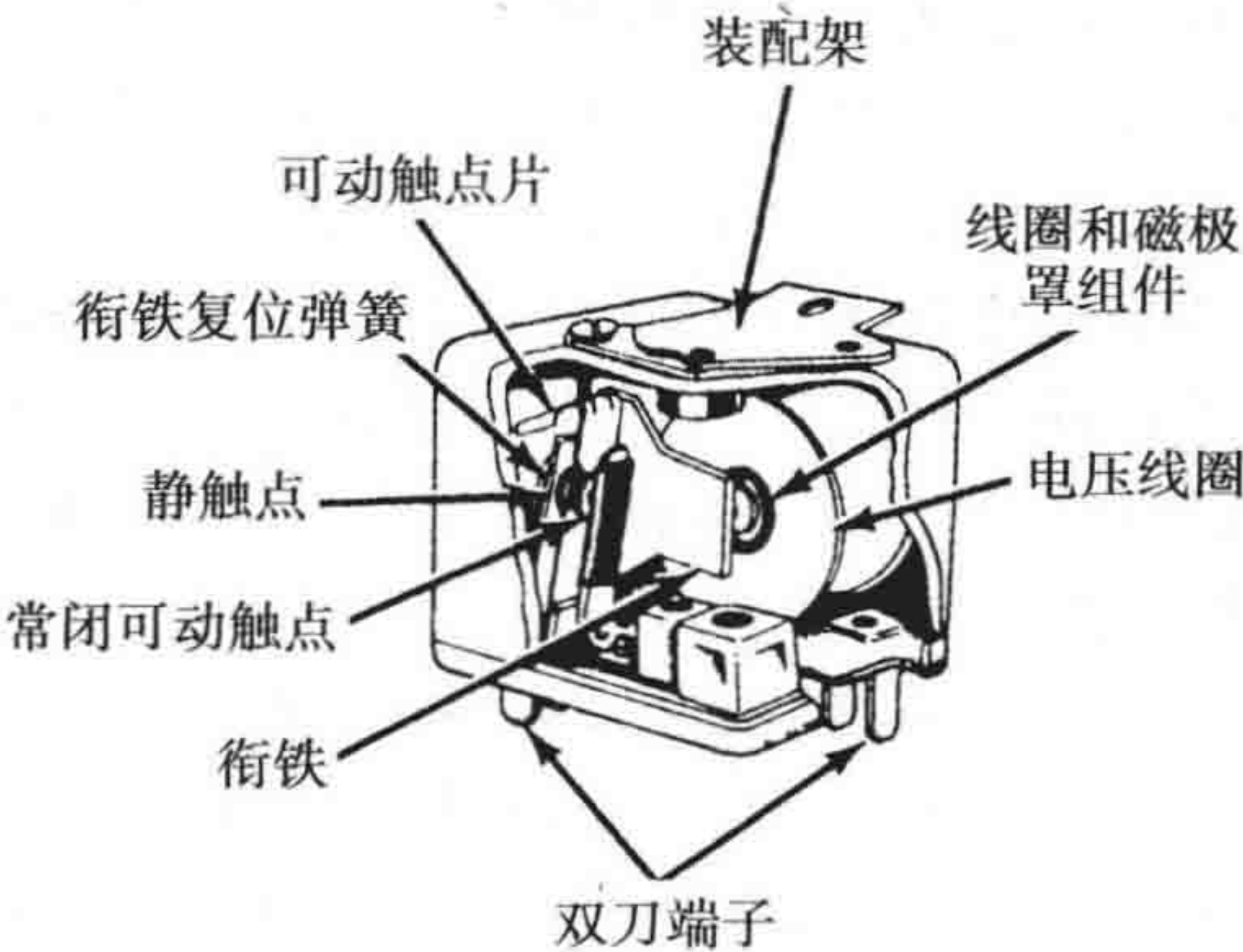


图 7-41 制冷电路中使用的电压继电器 (Tecumseh Products 产品)

这类继电器很多对位置极其敏感，因此，要注意：当更换压缩机继电器时，更换的继电器要安装在原有继电器的位置上。切记：永远不要仅仅通过功率或其他一般性的额定值来选择替换的继电器，一定要根据制造商提供的零部件指导书选择正确的继电器。

**电流继电器** 电流继电器通常用于 4hp 的小型制冷压缩机中。当压缩机通电后，继电器的螺线管线圈吸合继电器衔铁，使得与其连接的动触点和静触点相接触 (见图 7-42)，这样压缩机起动绕组得电；当压缩机达到运行转速时，电动机的主绕组电流使继电器的螺线管线圈失电，继电器触点断开，由此断开了电动机的起动绕组。

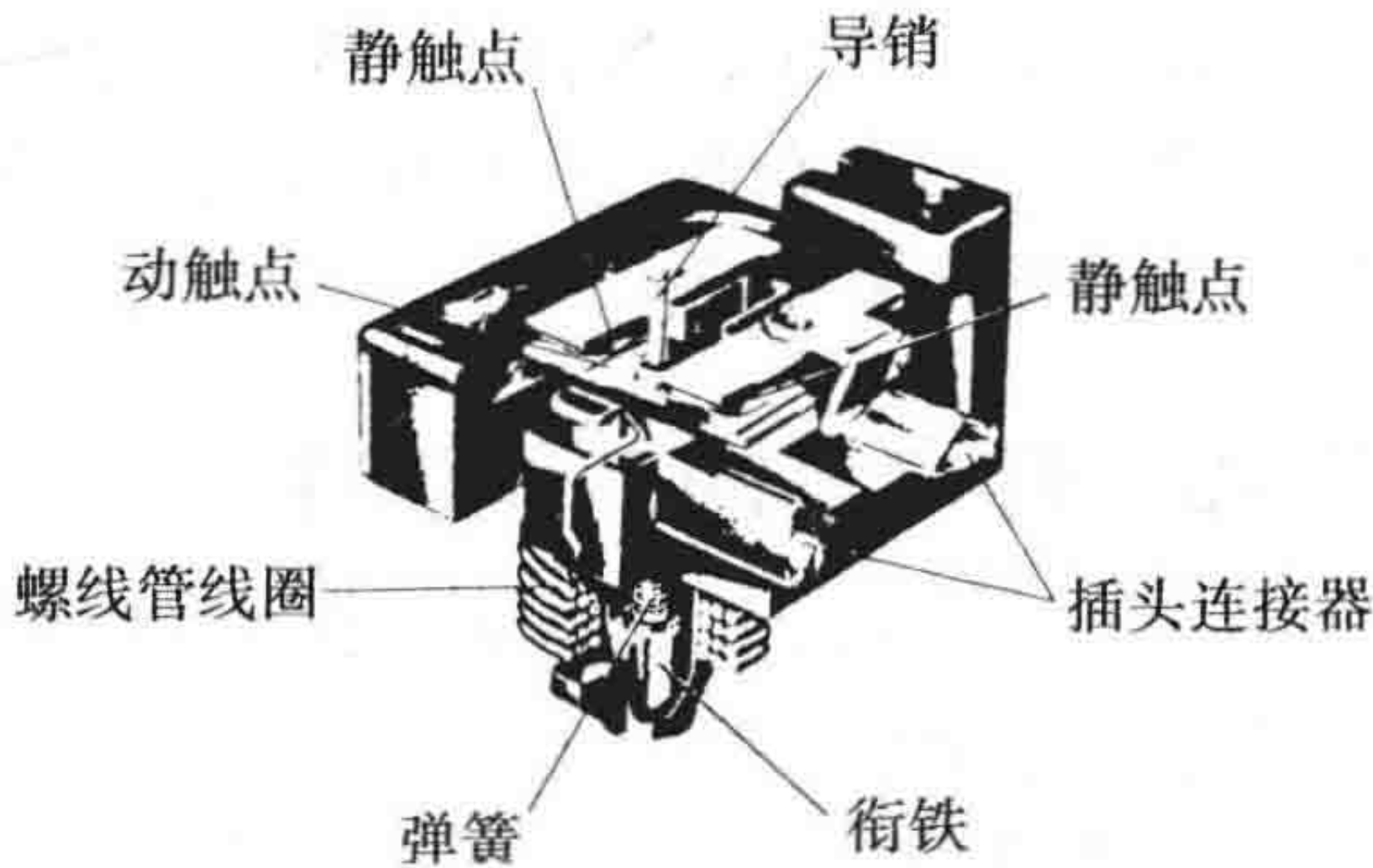


图 7-42 制冷电路中使用的电流继电器 (Tecumseh Products 产品)

7.9 机电继电器

机电继电器有很多种不同的形式，并且有不同的名字说明它们的用途。通用型继电器能完成很多操作。

特别设计的控制继电器是作为机床继电器来使用的 (见图 7-43)。这种继电器用于处理机床、传送机、升降机、起重机、装轮胎机，特别是各种电动机驱动的机械装置的逻辑开关中。

控制继电器的工作原理是依据电磁原理设

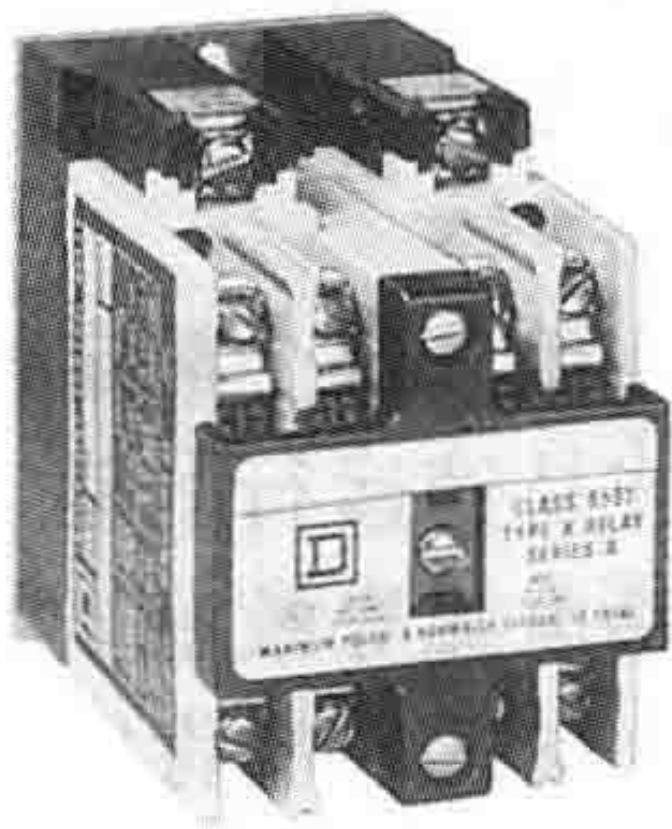


图 7-43 控制继电器 (Square D 产品)



计的。励磁线圈的得电会使常开触点闭合，常闭触点断开；线圈的失电会使触点恢复为原来的状态。

自锁继电器、控制继电器以及时间继电器一起工作，使自动化工厂变为一个逻辑系统成为可能。设计控制继电器可以在交直流电路中接通与断开感性负载和阻性负载。到目前为止，应用最多的是在交流电路中通断感性负载。典型的负载是继电器、定时器、起动器、接触器以及螺线管等设备的工作线圈。

自锁继电器是电磁操作类型的继电器，并通过机械自锁来保持。自锁继电器的线圈（自锁线圈）得电会使常开触点闭合，常闭触点断开，即使自锁线圈失电，其所有触点的状态依然保持不变；当另一个线圈——解锁线圈得电后，所有的触点恢复到原来的状态。两个线圈都是按连续工作方式设计的，不需要线圈清除触点。如果自锁线圈和解锁线圈同时得电，则自锁线圈优先控制触点状态，并保持触点状态。图 7-44 所示为传统的双线圈电路。

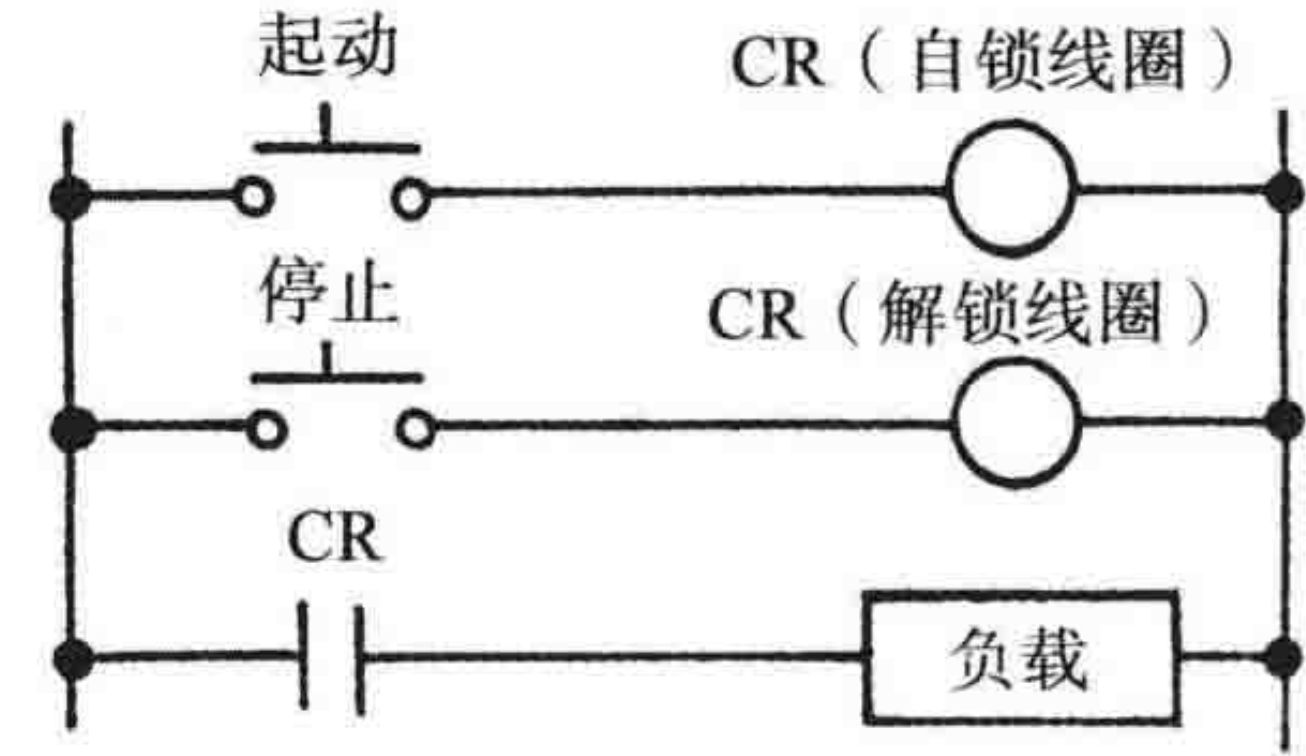


图 7-44 双线圈电路（Square D 产品）

自锁装置有自己的线圈，并且安装在控制继电器上（见图 7-45）。这种装置适用于任何 2~8 极的继电器，在实际应用中，即使连接好了继电器的触点和线圈，还可以将自锁装置安装到继电器上。自锁装置有自动调节的特点，它能使自锁动作和它所安装继电器的动作相适应，以提供最优的性能。

在控制系统中，推荐使用带自锁继电器的固态定时器。固态定时器在高占空比的周期工作中非常有用，这种继电器将在第 9 章中介绍。

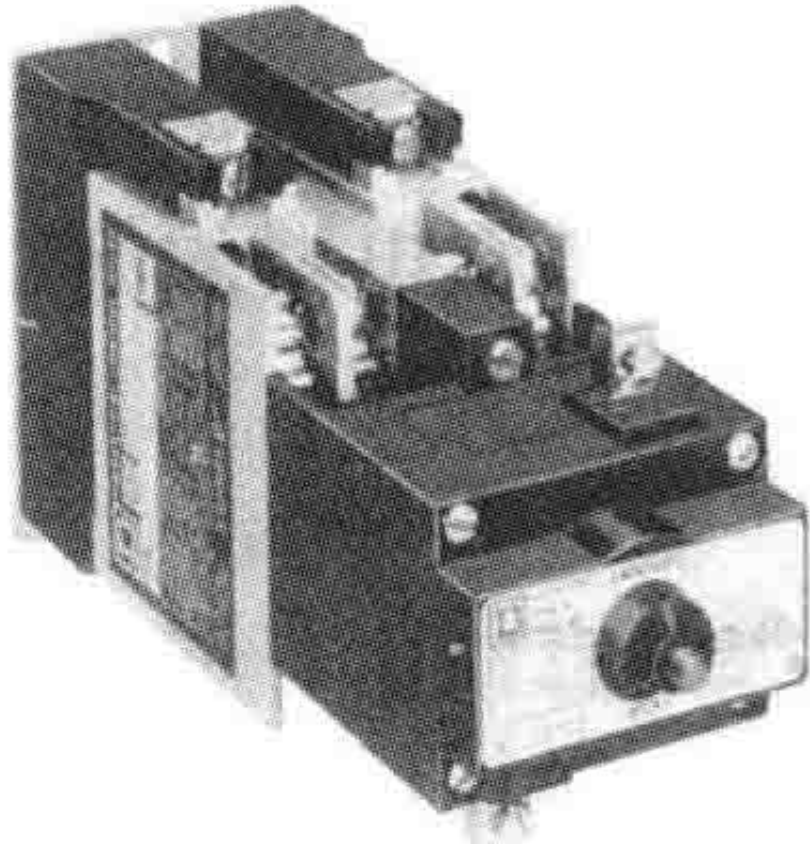


图 7-45 自锁继电器。注意控制继电器前面的自锁装置（Square D 产品）

7.10 继电器的工作特性

继电器的额定值很重要。在选择继电器的时候，闭合额定值、断开额定值、持续运行额定值都需要考虑。

**电阻额定值** 该值表示触点可以闭合、断开以及持续承受的电阻负载值。电阻等级是基于 75% 功率因数的测量结果而来的。

**电感额定值** 电感额定值指的是触点可以闭合、断开以及长期承受的感性负载值，例如，接触器、起动器、继电器以及螺线管的线圈。电感额定值的测量是在负载功率因数为 35% 时进行的。

**接通额定值** 这个额定值指的是触点闭合时能够承受的电流。在感性交流电路中，瞬时冲击电流通常是工作电流的 10 倍。继电器必须能够承受冲击电流，在紧急情况下还要能断开它。

**断开额定值** 这个额定值指的是触点能够成功断开的电流。电感的断开额定值总是比电阻的额定值或持续运行的额定值低。当触点断开电感电路的瞬间，负载中的电感电流维持不变，其结果是电弧导致触点过热和腐蚀了触点。由于有额外产生的热量，所以在触点寿命相同的情况下，电感电流肯定比电阻电流小。

**持续运行额定值** 持续运行额定值表示在不闭合或断开电路以及不超过某一温升时，触点能够持续承受的负载值。



7.10.1 触点寿命

控制继电器的触点寿命取决于电力负载的大小以及电力负载的性质、电感、工作周期、所用设备的机械特性、电压波动以及环境等。

当控制电路中的继电器工作在最大额定负载时，触点的寿命通常比继电器其余部分的寿命要短。如果需要触点在生命周期里进行大量操作，那么触点必须在低于最大接通额定值和断开额定值下使用。

NEMA 标准推荐，在自动控制顺序系统中，使用控制继电器时负载必须低于 60A 接通额定值以及 6A 断开额定值的 25%。在实际操作次数高于 NEMA 标准耐久性试验要求的 6000 次的地方，NEMA 标准不推荐继电器在最大额定值电流下工作。

7.10.2 触点结构

继电器使用双断点触点（如图 7-46 所示）。将两个单独的断点串联是出于实用的目的，因此，当触点断开电流时，会产生两段电弧。与使用单断点触点的装置相比，这样将能量分开，能够延长触点的电气寿命。这些静触点和动触点是由银镉氧化物材料制成的。材料的选取很重要，因为材料焊接时有电阻，并且闭合冲击电流通常与感性负载相关。它也可以减少反复切断电感电路时相关触点的腐蚀。注意观察图 7-47 中的触点结构，在每个极点它们都提供两条并联路径。实际上，可动指状触点的两部分并不是刚性连接的，这确保了所有 4 个触点在闭合时受力近似相同。跨在两个并联触点上的鞍形架（见图 7-48），提供了一条交叉导电路径，这使可靠性更高。

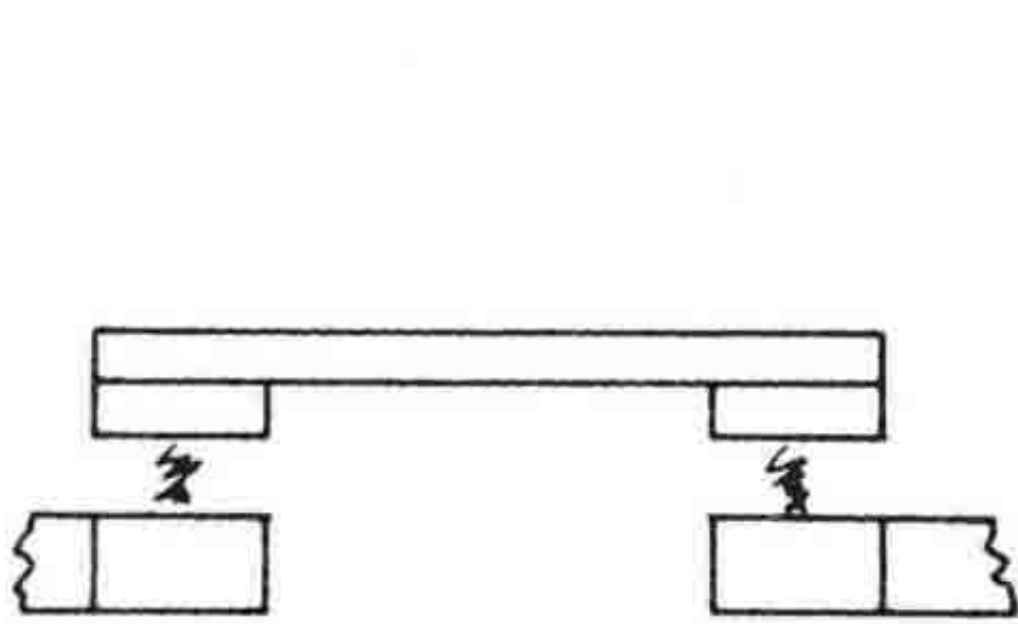


图 7-46 继电器触点间的电弧 (Square D 产品)

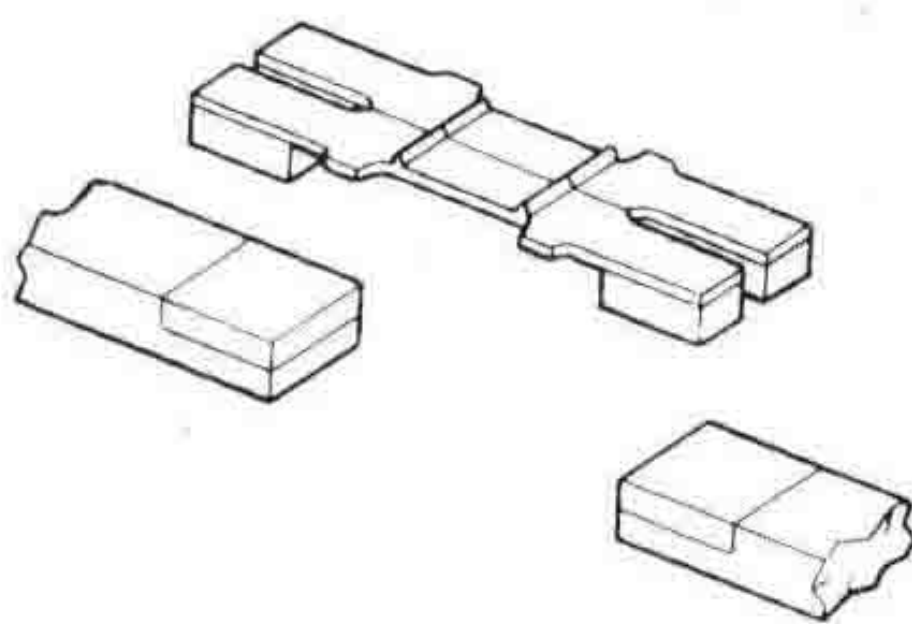


图 7-47 继电器触点 (Square D 产品)

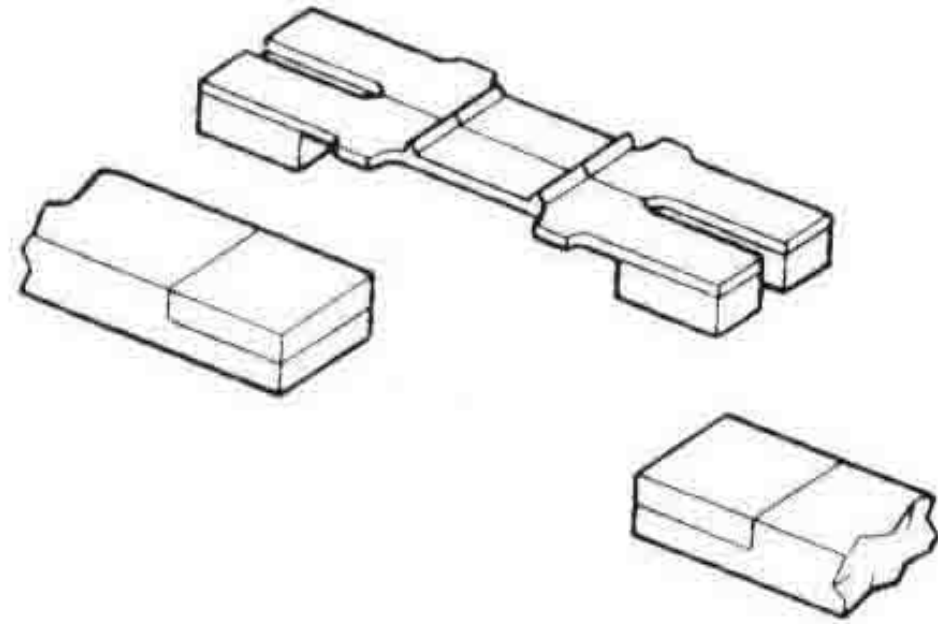


图 7-48 带鞍形架的继电器触点 (Square D 产品)<sup>⊖</sup>

用欧姆表测试触点是不可靠的，因为大多数欧姆表最常使用的电压源是 1.5V 干电池，而被测试的触点本身是一个低能耗的电路负载，因此，使用几个欧姆表对同一触点进行测量其读数均不一样，但该触点作为继电器线圈负载可能工作得非常好。

7.10.3 继电器线圈

继电器线圈的设计使其在电压变化为 -10%~+15% 额定值时能正常工作。这个额定值就是线圈上标出的电压值。

大多数线圈都标有部件号、工作电压、工作频率和生产日期。在大多数继电器中，线圈的外部是塑压的环氧树脂（见图 7-49）。它形成了一层致密的保护层，有很高的强度，能防止机械损伤。这种类型的结构还有很好的热传导性，冷却效果好，还能减少水分的吸收。对于控制继电器和自锁继电器的线圈来说，这样设计是为

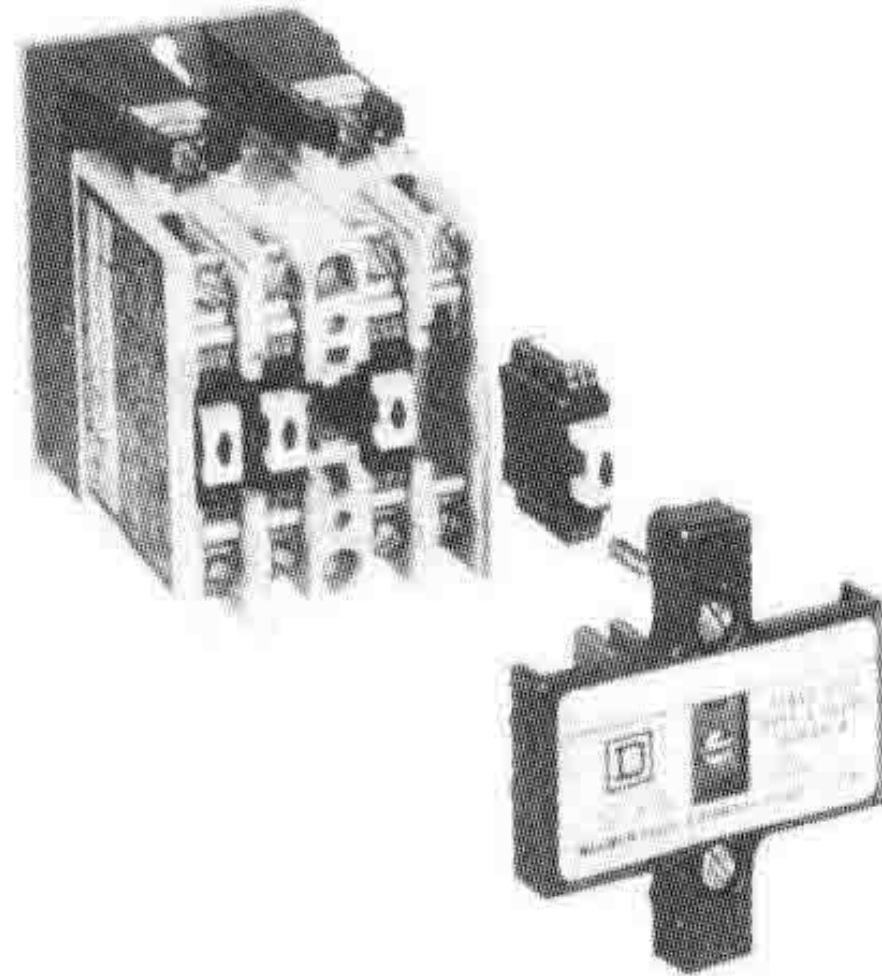


图 7-49 控制继电器的部件分解图 (Square D 产品)

⊖ 图 7-48 中未见到所描述的鞍形架。——译者注



了持续工作时不会过热。

**瞬态** 线圈相对不受瞬态影响。因为继电器的吸合时间大约是 9ms，短时的瞬态电压很难使输出触点误闭合。高质量的线圈绝缘加上切换时很低的电压差，使得短时切换的瞬态很难产生故障。然而，当继电器线圈失电时，其瞬态会影响附近固态设备的正常工作。使用可选的瞬态抑制器可以将瞬态电压抑制为峰值电压的 200%（见图 7-7）。

#### 7.10.4 冲击与振动

冲击与振动表现为触点颤动。这是由于衔铁运动过程造成的触点误动作，或机械损坏而产生的。大多数继电器在设计的时候需要考虑其工作环境的冲击与振动给它们带来的影响，这个问题可以采用高触点压力和低质量可动触点来补偿。

#### 7.10.5 继电器和海拔

海拔高时气压会比较低，低气压本身不会直接影响继电器，但是，高海拔会降低空气的绝缘等级以及冷却效果，因此，在高海拔地区使用继电器时，有必要考虑降低电气设备的额定值。当继电器用在海拔高于 6000ft（1ft=0.3048m）但不超过 15 000ft 的地方时，应该降低它的额定值，往往把继电器的额定值降到其正常额定值的 75%。

### 7.11 思考题

1. 描述继电器。
2. SPST、SPDT 以及 DPDT 分别是什么意思？
3. 列出继电器的组成部件。
4. 磨光是什么意思？
5. 固态继电器的两种类型分别是什么？
6. 固态继电器的优点是什么？
7. 双向可控硅是什么器件？画出双向可控硅的符号。
8. 晶闸管和双向可控硅间的区别是什么？
9. 对于双向可控硅或者晶闸管来说，哪一个可以处理更大的电流？
10. 画出晶闸管的符号，并标记引线端。
11. 简单描述晶闸管的操作原理。
12. 什么是反相？
13. 什么是释放电压？
14. 过电压 / 欠电压继电器的作用是什么？
15. 为什么零电流关断对固态继电器来说是一个优势？
16. 什么会使通用型固态继电器产生不同的效果？
17. 为什么感性负载需要使用瞬时接通继电器？
18. 解释热敏继电器是如何工作的。
19. 触点放大继电器在哪些地方可以使用？
20. 负载监测器用在哪些地方？
21. 热过载继电器有哪两种类型？
22. 热过载继电器中热过载单元的 3 种设计分别是什么？
23. 热过载继电器跳闸动作分类名称分别是什么意思？
24. 电流继电器和电压继电器的操作有什么区别？
25. 哪 3 种类型的继电器使得自动化工厂中的逻辑系统成为可能？
26. 描述继电器触点的接通额定值和断开额定值。
27. 为什么在继电器线圈上需要使用瞬态抑制器？
28. 高温是如何影响继电器操作的？
29. 在切除电源后，自锁继电器还会维持所有触点闭合吗？
30. 电感额定值是什么意思？
31. 电阻额定值是什么意思？
32. 持续运行额定值是什么意思？
33. 什么决定了继电器触点的寿命？

### 7.12 练习题

复习串并联电路在很多电气应用中会很有帮助。对于继电器来说也不例外，有时候需要在电



路中添加继电器和电阻的各种组合。

1. 计算图 P-1 中通过  $R_1$  的电流。

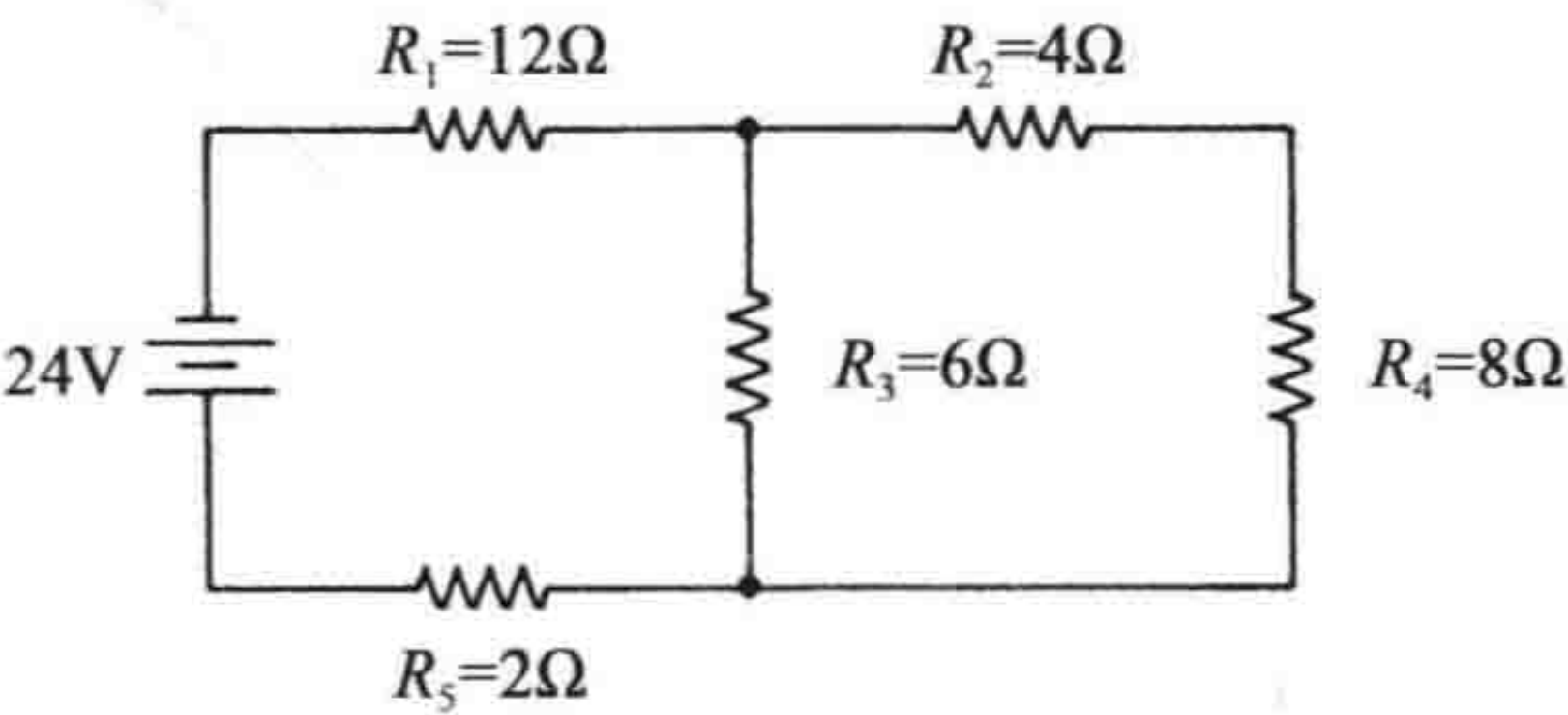


图 P-1

- 2. 计算图 P-1 中通过  $R_4$  的电流。
- 3. 计算图 P-1 中  $R_3$  上的电压降。
- 4. 计算图 P-1 中  $R_2$  上的电压降。
- 5. 计算图 P-1 中通过  $R_5$  的电流。

6. 正确计算图 P-2 中的值，并填在下表中。

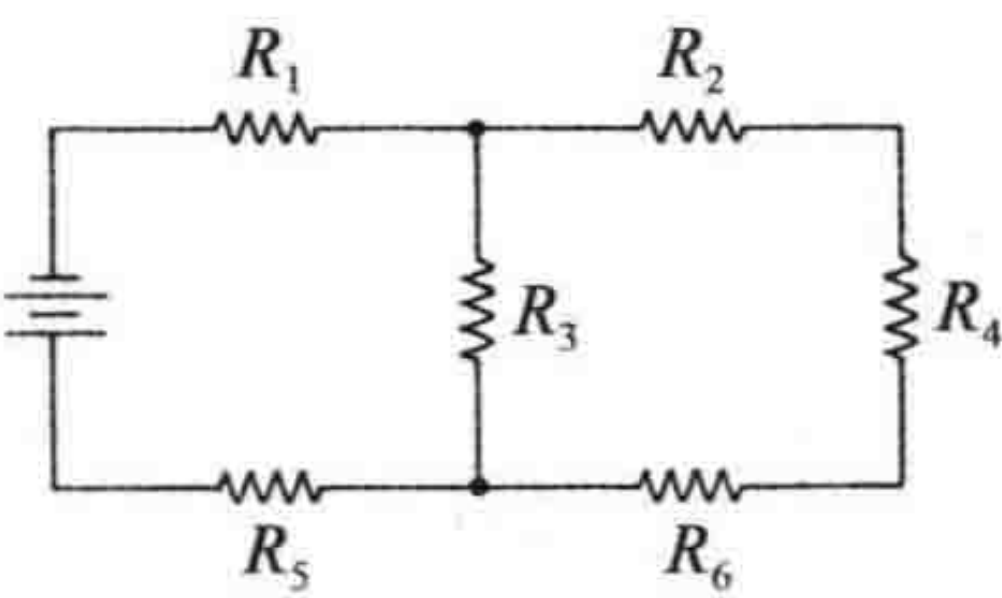


图 P-2

电阻	电阻值 ( $\Omega$ )	压降 (V)	电流 (A)
$R_1$	3		2.00
$R_2$	5		1.00
$R_3$			
$R_4$	3		
$R_5$		8	
$R_6$	8		1.00



# 第 8 章

## 电 动 机

### 8.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 识别并分类电动机的类型。
2. 定义反电动势 (CEMF)。
3. 解释各种直流电动机的优点和缺点。
4. 描述交流电动机的反向过程。
5. 理解使用补偿绕组和换向极的原因。
6. 解释在交流电动机中磁场是如何旋转的。
7. 画出三相波形。
8. 解释同步电动机是如何起动的。
9. 列出笼型电动机的特点。
10. 定义电动机的转差率。
11. 理解单相电动机工作原理。
12. 确定在不同频率时极数是如何影响电动机转速的。
13. 在给定某些参数的情况下计算电动机的功率。
14. 描述电动机中使用的绝缘系统的分级。

### 8.2 电动机的分类

电动机可以分为三大类：

- 只能在直流条件下运行的直流电动机
- 只能在交流条件下运行的交流电动机
- 既能在交流条件下运行又能在直流条件下运行的通用型电动机

在你学会控制电动机之前，最好知道是什么驱动它们运行以及为什么选择它们完成特定的工作。它们被设计要完成的工作以及完成工作的能力是使电动机在最大效率下工作的重要因素。

### 8.3 直流电动机

直流电动机是重载机械设备。很多大型设备依赖直流电动机提供动力。直流电动机的转速和旋转方向很容易进行控制，只需改变极性就可以改变其旋转方向。改变电压，转速随之会改变。这使其在操作卷扬机、起重机、导弹发射器以及升降机等设备时十分有用。



8.3.1 工作原理

直流电动机是基于放在磁场中垂直于磁力线的载流导体的运动原理工作的。载流导体趋向于沿垂直于磁力线方向运动（见图 8-1）。导体中磁场方向与电流方向以及导体趋向的移动方向间的关系满足右手定则（见图 8-2）。

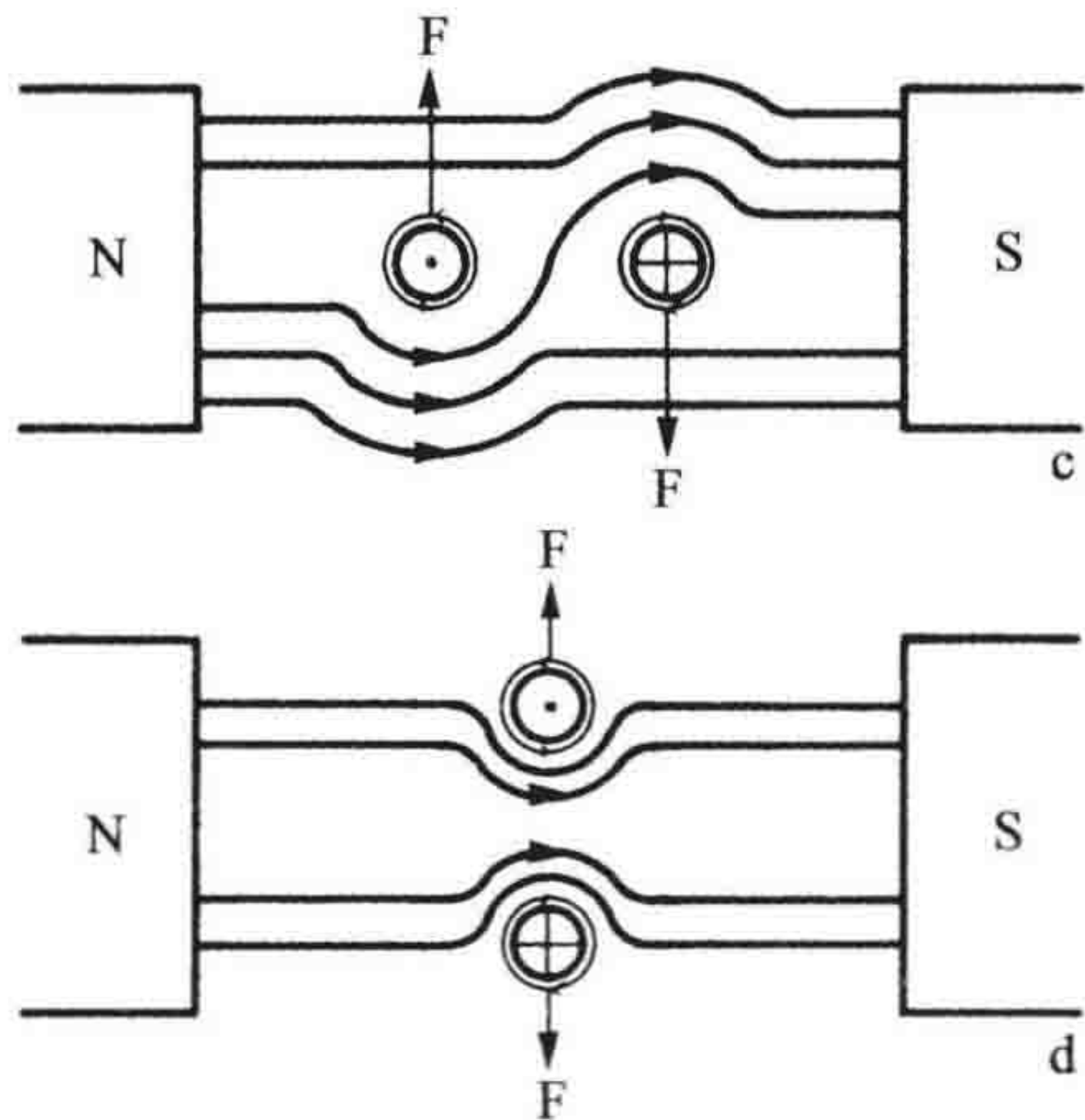


图 8-1 电枢磁通与磁场相互作用产生向上和向下的力

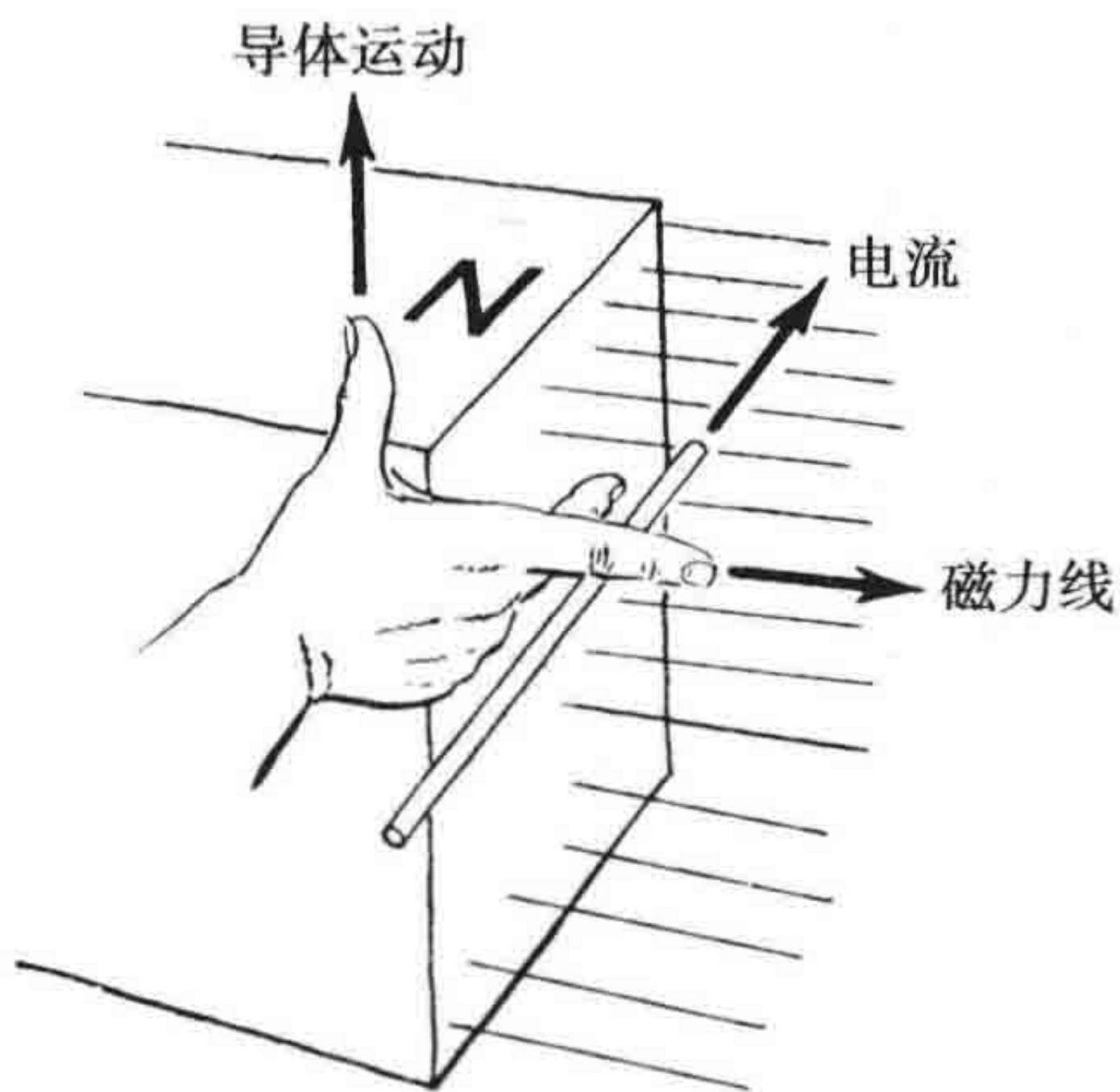


图 8-2 右手定则

使用右手定则可以判断电动机的旋转方向。如果不知道导体的运动方向，可以张开右手大拇指、食指和中指，使它们彼此成为直角。如果食指指向磁通方向（从 N 极指向 S 极）（通过检查电源的极性可以确定），中指指向导体中电流的方向，那么大拇指将指向导体的运动方向。

要记住直流电动机的旋转是两个磁场相互作用的结果。直流电动机的电枢通过其线圈动作，这是因为电枢位于磁极的磁场中，并且这两个磁场相互作用。同名磁极相互排斥，异名磁极相互吸引。直流电动机有静止磁极以及使磁极间轴承旋转的电枢。直流电动机的电枢有绕组以及与之相连的换向器。图 8-3 显示了简单的直流电动机是如何工作的。

注意观察固定在换向器上的电刷根据电源电压的极性在导体中是如何产生磁场的。换向器的转动会使电枢绕组元件中的电流方向发生改变，进而改变了导体周围磁场的极性。磁场的相互排斥和吸引，使电枢连续旋转。让电枢旋转的转动惯量使电枢转过异名极精确对准的位置。然而，当电流通入静止的电枢时，如果此时异名极处于精确对准的位置，那么将没有转动惯量使电枢旋转起来。在这种情形下，电动机不会旋转或起动。这时需要旋转一下电动机来起动它。

当电枢有更多匝数时，这个缺点可以得以消除，因为这样就存在不止一个电枢磁场了。两个电枢磁场与磁极磁场不可能同时恰好对正。

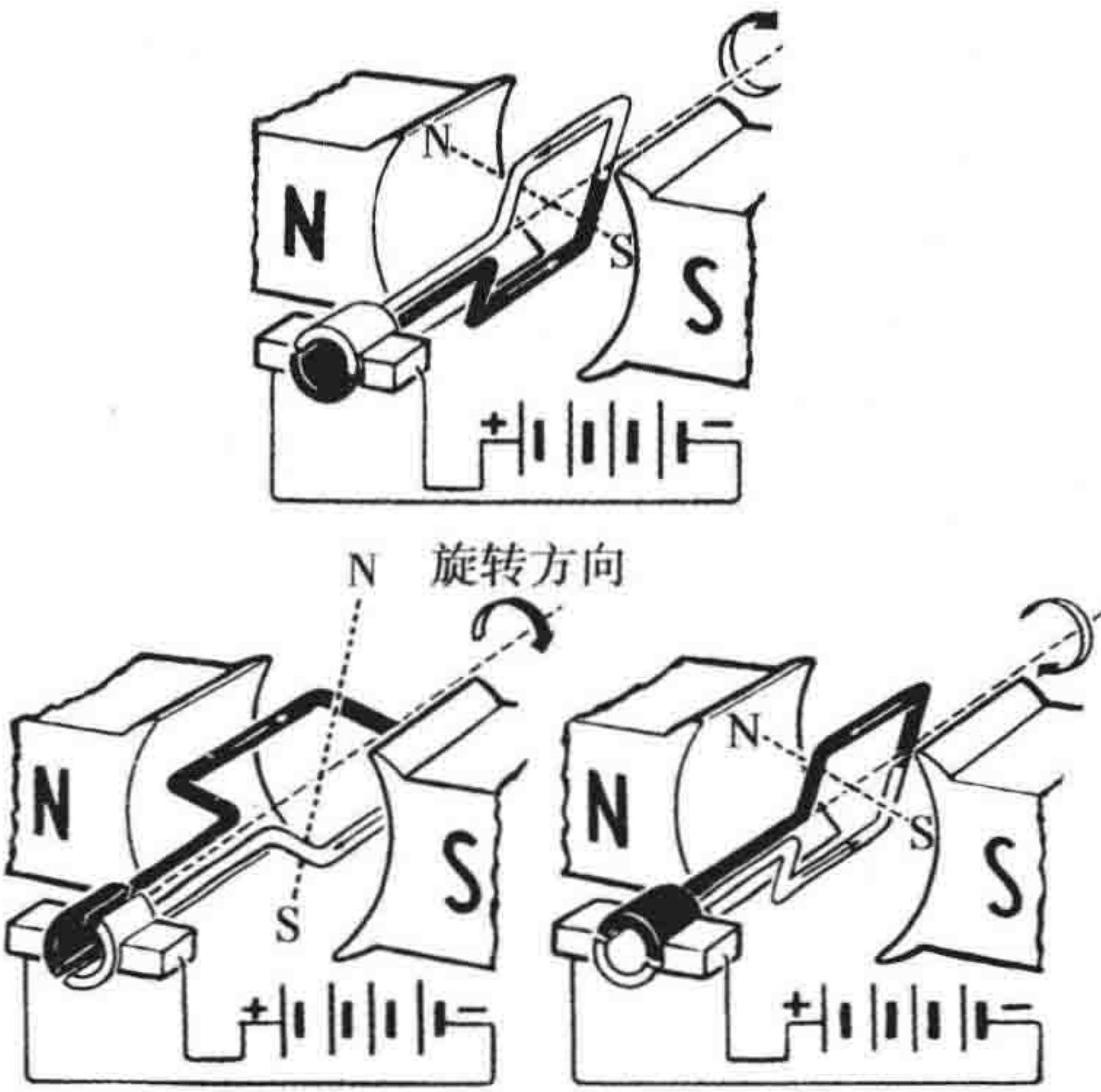


图 8-3 直流电动机电枢的旋转

8.3.2 反电动势

在直流电动机运行时，它有点像直流发电机，例如，二者都有磁极产生的磁场，这意



意味着线圈需要持续旋转并切割这个磁场。暂且忽略有电流流向线圈，随着线圈切割磁场，和直流发电机一样，在电动机的线圈上也会感应出电动势。这个感应电动势会在线圈中产生电流。感应电流的方向与外加输入电流（电源）的方向相反。因为这个电流的方向与产生它的电流方向相反，所以称之为反电动势（CEMF）。

在直流电动机中，总会产生反电动势。反电动势不能大于等于供电电源的电压，否则电动机不会旋转。反电动势与供电电压相反，这样它能使来自电源的电枢电流保持为一个较低的值。如果没有反电动势，那么电枢中将流过大得多的电流（这是因为此时只有它的低直流电阻来决定流过的电流），这意味着电动机将转得更快。反电动势无法避免，它使得直流电动机运行起来更经济。

8.3.3 负载

直流电动机可以用来驱动很多机械设备：如水泵、磨轮、风扇叶片以及圆锯片。要记住水泵或风扇叶片是负载，它们是必须由电动机驱动的机械装置，我们称其为电动机负载。随着所需要的机械能的增加，负载会使电动机中流过更大的电流，这也意味着会消耗更多的电能，这是因为电压乘以电流等于消耗的功率。电动机上的负载影响其转速、流过的电流以及效率。

要使电动机运行效率最高，负载和电动机特性以及能力必须相匹配，这样会给负载和电动机创造更好的运行条件。

8.3.4 直流电动机的类型

直流电动机的 3 个分类分别是串励、并励以及复励。由于每种类型的励磁绕组和电枢的连接方式都不一样，所以每种电动机的特性都不一样。

8.3.5 串励直流电动机

在串励直流电动机中，励磁绕组和电枢串联连接。励磁绕组必须承受满载的电枢电流（见图 8-4），因此，它是由匝数较少直径较大的粗电线绕成的。这种结构既有优点也有缺点。这种类型的电动机在起动时会产生很大的旋转力（转矩）。正是因为串励直流电动机具有这种特性，所以它才可以用来操作电气设备、便携电动工具、起重机、卷扬机、升降机以及起动汽车发动机。

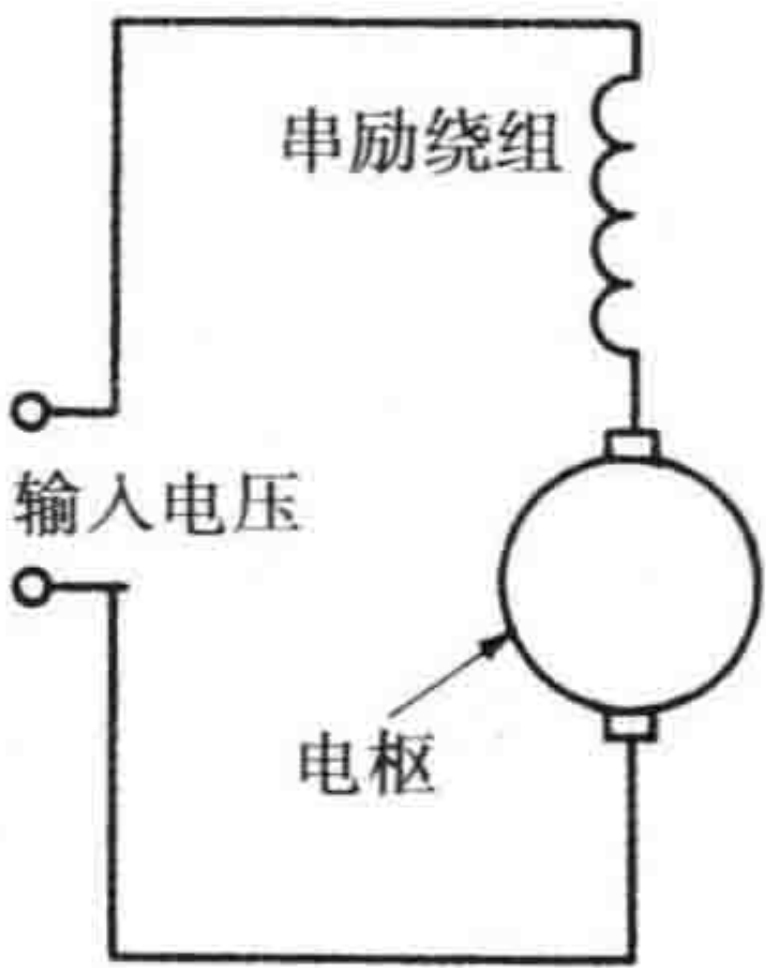


图 8-4 串励直流电动机的示意图

串励直流电动机的另一个特性是空载和带载时转速相差很大，它不能用在改变负载时而需要转速相对恒定的地方。串励电动机主要的缺点与其转速特性有关。串励电动机空载时其转速会持续增加直到电动机损坏，通常情况下，要么是轴承损坏，要么是绕组飞出电枢的槽。如果是大型电动机（如起重机），对设备或者其周围的工作人员都会造成危险。负载必须在电动机起动前连接到串励电动机上，这也意味着不能有传送带式负载，因为传送带可能会断裂或者是打滑。那些用在电动手钻上的小型电动机有足够的内摩擦力（有变速器）。作为它们本身的负载越是大型电动机越应小心对待。

这种电动机既可以在交流电下运行，也可以在直流电下运行，这使得其在使用时灵活性更大。然而，其在直流电流下运行得最好。通用型电动机（交流或直流）将在后面介绍。



8.3.6 并励直流电动机

并励直流电动机是励磁绕组与电枢并联的（见图 8-5）。一旦校准后，改变负载，并励直流电动机的转速仍保持相对恒定，其原因之一在于磁场的磁通保持了恒定。励磁绕组上恒定的电压使磁场和电枢电路的变化相互独立。

当增加电动机上的负载后，电动机趋向于减速。减速会减小电枢中产生的反电动势。反电动势的减小会降低电枢电流增加。电枢电流的增加会使电动机加速，初始转速建立的情形会再次建立，并维持初始转速。

现在，如果减小电动机的负载，那么电动机的转速将趋于增加。然而，反电动势的增加，也就意味着电枢电流会减小，电枢电流的减小会使转速降低。负载的减小和转速的降低是瞬时响应，这意味着转速趋于稳定或者说是，微弱波动在大多数情况下，这种波动是不会被察觉的。

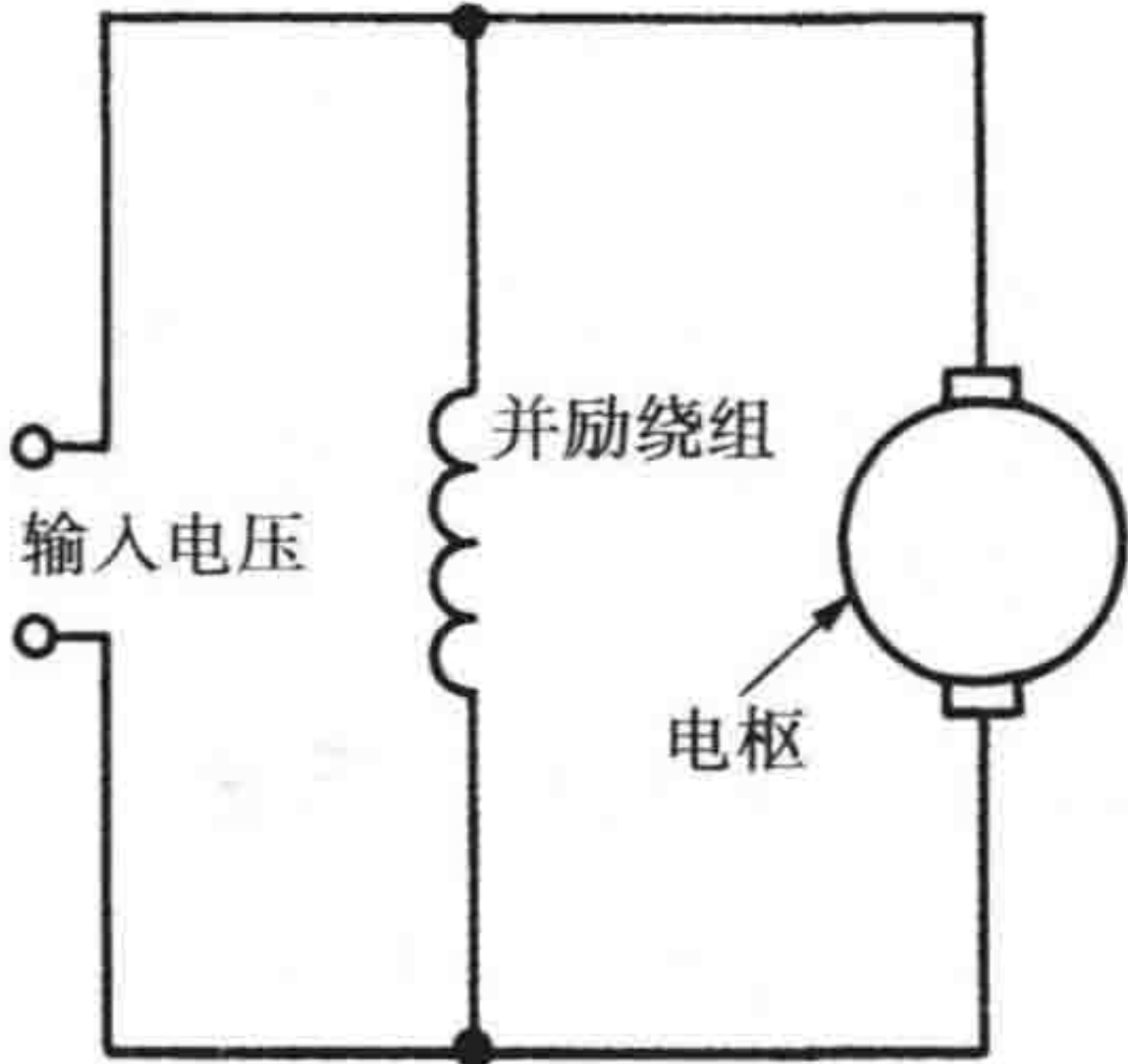


图 8-5 并励直流电动机的示意图

8.3.7 复励直流电动机

复励直流电动机有两个励磁绕组（见图 8-6），一个是并励绕组与电枢并联；另外一个为串励绕组，与电枢串联。并励绕组使电动机具有恒定转速的优势，串励绕组使其具有大负载起动时能够产生很大转矩的特点。复励直流电动机兼有串励直流电动机和并励直流电动机的特性。

复励直流电动机有长复励和短复励两种类型。在长复励中，串励绕组与电枢串联，然后与并励绕组并联（见图 8-6a）。在短复励中，并励绕组与电枢并联，然后与串励绕组串联。

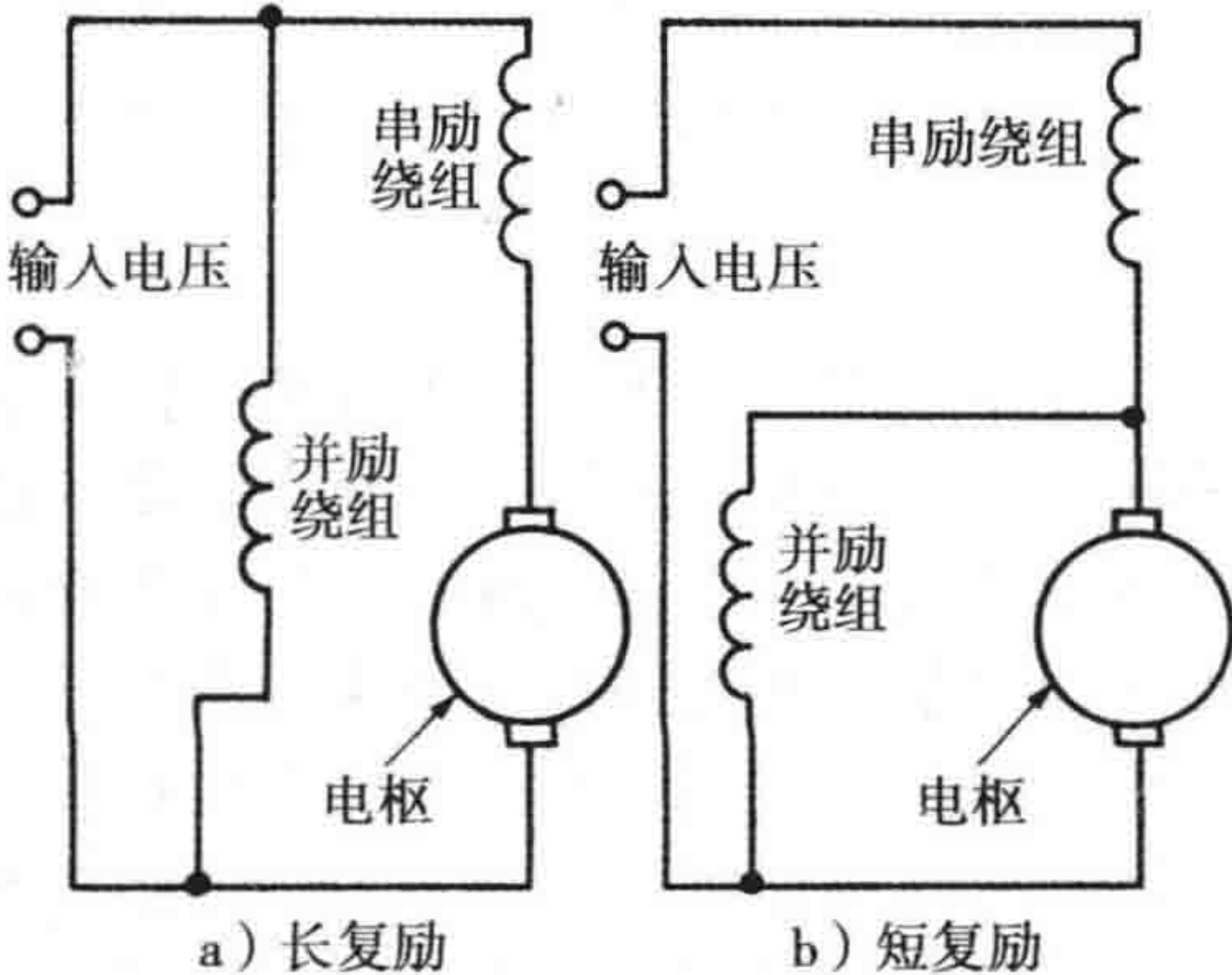


图 8-6 复励直流电动机示意图

8.3.8 电枢种类

有两种电枢可以用于直流电动机中。环形电枢效率低，除了为更好理解鼓形绕线电枢之外，没有其他任何用途。鼓形绕线电枢用于直流电动机中。

图 8-7a 显示了鼓形绕线电枢的端视图。小圆点代表通过线圈中的电流流向你，用 + 代表电流从你这里流出，好似离开你的箭的尾羽一样。图 8-7b 是电枢和磁极的侧视图。注意观察每根导体的长边放置和磁极的表面是平行的。这样，电枢的每根导体都可以切割电动机磁场的最大磁力线。环形电枢效率低的特点可以通过这种放置方式来克服，并可制成鼓形绕线类型。

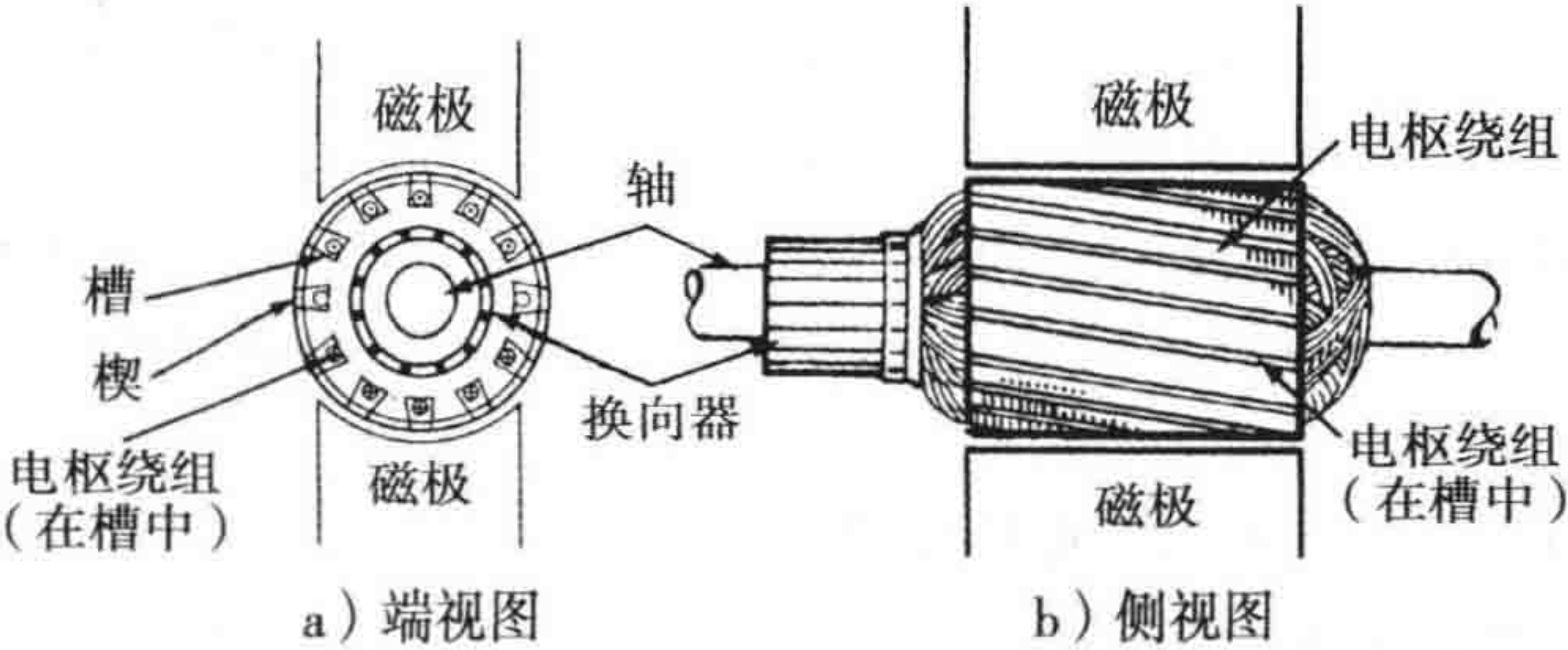


图 8-7 鼓形绕线电枢



8.3.9 旋转方向

直流电动机的旋转方向取决于磁场和电枢电流的方向。如果磁场方向或电流方向中的一个反向了，那么电动机也会反向旋转。然而，当磁场方向和电流方向同时反向时，电动机将继续沿原方向旋转。在实际工程中，是通过改变励磁电压的方向来使电动机反向的。这意味着如果你希望将电动机连接到一个换向开关上，那么绕组的引线必须引出来以方便接入到开关装置上。

8.3.10 电动机的转速

直流电动机是变速电动机，它通过改变励磁电流或者是电枢中的电流实现转速的变化。励磁电流的降低会导致磁通量减小，这意味着反电动势会降低。反电动势降低后，电枢电流会更大，这意味着电动机将会加速。当励磁电流增加时，磁通量增加，会产生更大的反电动势。反电动势的增加会降低电枢电流，而电枢电流的降低，造成电动机减速。降低电枢的外加电压会使电枢电流降低，电动机减速；增加电枢电压，电流增大，电动机加速。

并励电动机的转速可以通过与励磁绕组串联的变阻器来控制，见图 8-8。增加变阻器电阻会使励磁绕组中的电流减小，瞬时改变磁通量，随之会降低反电动势，这样电动机的旋转速度会增加。转速的瞬时增加会增加反电动势，保持电枢电流不变。变阻器电阻的减小会使励磁绕组中的电流增加，电动机减速。

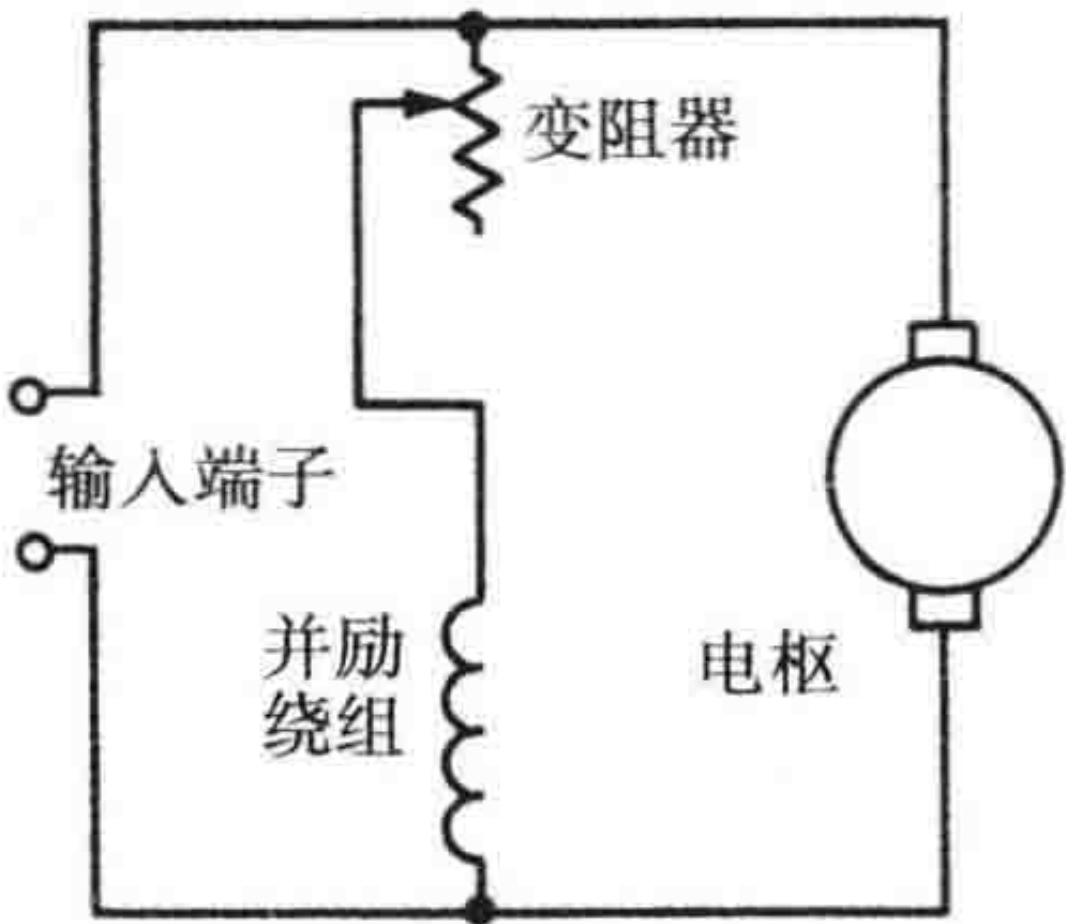


图 8-8 用于转速控制的变阻器

在串励电动机中，变阻器速度控制器可以和电枢绕组串联连接，也可以并联连接。改变变阻器，使电枢电压降低，会使电枢电流减小，电动机减速。若改变变阻器，使电枢电压和电枢电流增加，则电动机将加速。将变阻器和串励电动机串联的一个缺点是它破坏了电动机特有的转矩优势。这有一个很好的例子就是缝纫机上的脚控。串励电动机给缝纫机提供动力，在脚踏速度控制器中串联电阻器会减小电动机的起动转矩，所以，为了起动缝纫机，电动机必须通过旋转轮子助力。将速度控制器由变阻器改成晶闸管可使速度控制具有不损失起动转矩的优势。这种控制类型在第 7 章已讨论过。

8.3.11 电枢反应

因为电枢在磁场中旋转，所以它也服从控制发电机的自然法则。这意味着电枢也切割励磁绕组产生的磁力线。当然，电枢也有自己的磁场，它是由其绕组中流过的电流产生的。电枢在磁场中旋转产生发电机反应，它自己的磁场也会产生电动机效应，这种电枢效应在电动机的设计中必须予以补偿。有几种方式可以实现补偿，其中之一就是在电动机起动后移动电刷（见图 8-9）。需要注意观察电枢磁场是如何扭曲磁极间的磁力线的。这个效应使得中性面左移，移动方向与旋转方向相反，随着电刷移动，中性面也移动。电刷不会产生火花的合适位置已经指示出来了。另一种方法就是在电动机中永久地安置补偿绕组和换向极。

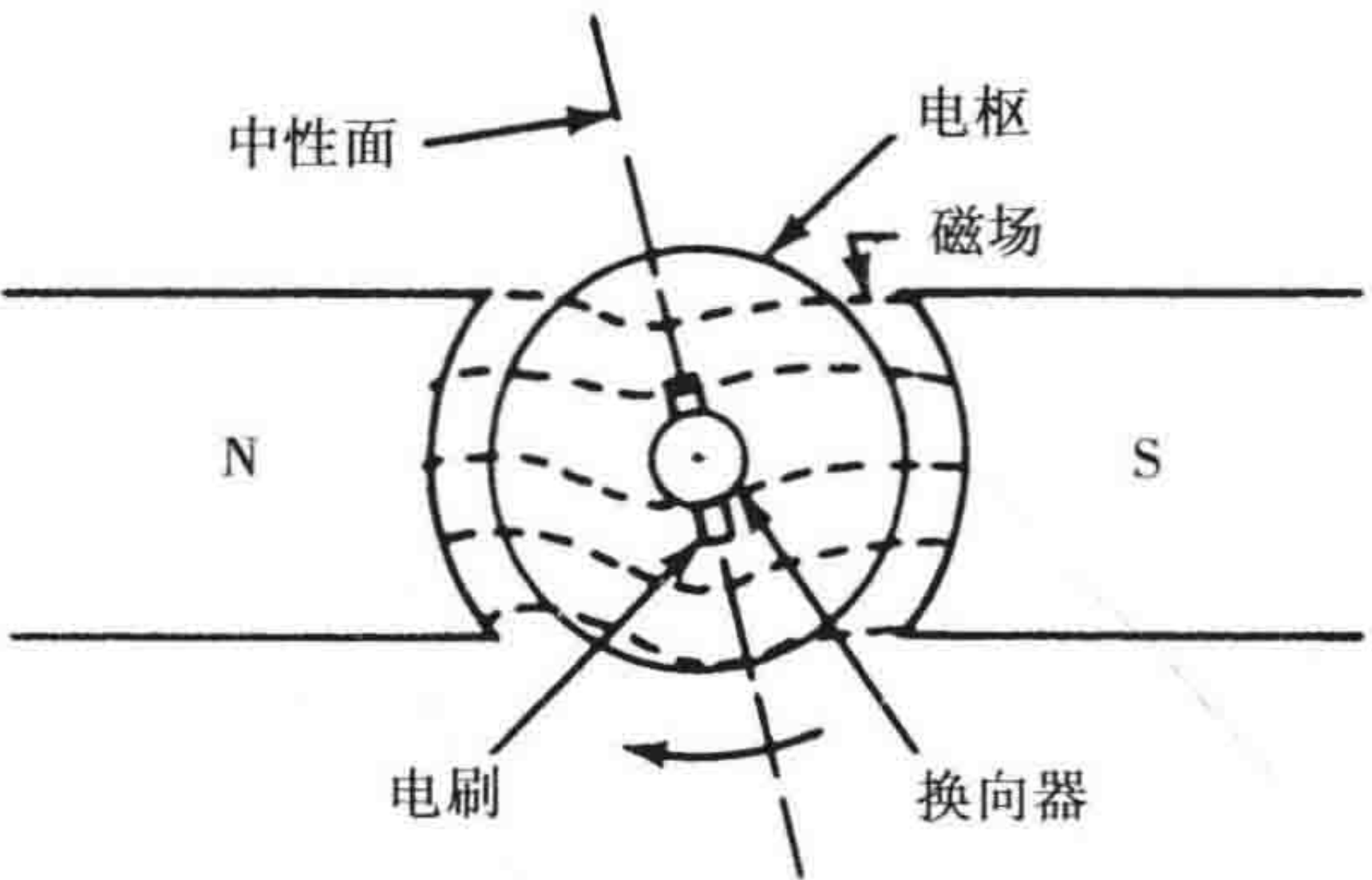


图 8-9 电枢反应



8.3.12 补偿绕组和换向极

补偿绕组和换向极能够抵消电动机中的电枢反应。移动电刷可以减少火花，使磁场的影响减小。消除电枢反应后就不需要移动电刷了。

补偿绕组和换向极在电动机和发电机中都能找到。补偿绕组成本有点高，这意味着大多数大型直流电动机是依靠换向极来校正电枢反应的。补偿绕组在电动机和发电机中是一样的。然而，换向极却有一点不同，区别在于发电机的换向极极性和在它前面旋转的主极极性一样，在电动机中，换向极的极性和跟在它后面旋转的主极极性一样（见图 8-10）。

连接的换向极中流过电枢电流。随着负载的变化，换向极中的磁通也随之改变，换向也会随着负载的变化自动校正。这意味着当负载增加或者减少时不需要移动电刷。电刷位于空载中性面上，并且对于所有的负载其位置保持不变。

直流电动机通过改变电枢中的电流方向可以实现反向，这意味着换向极中的电流也反向。这样的换向极还是有正确的极性能提供自动换向的。

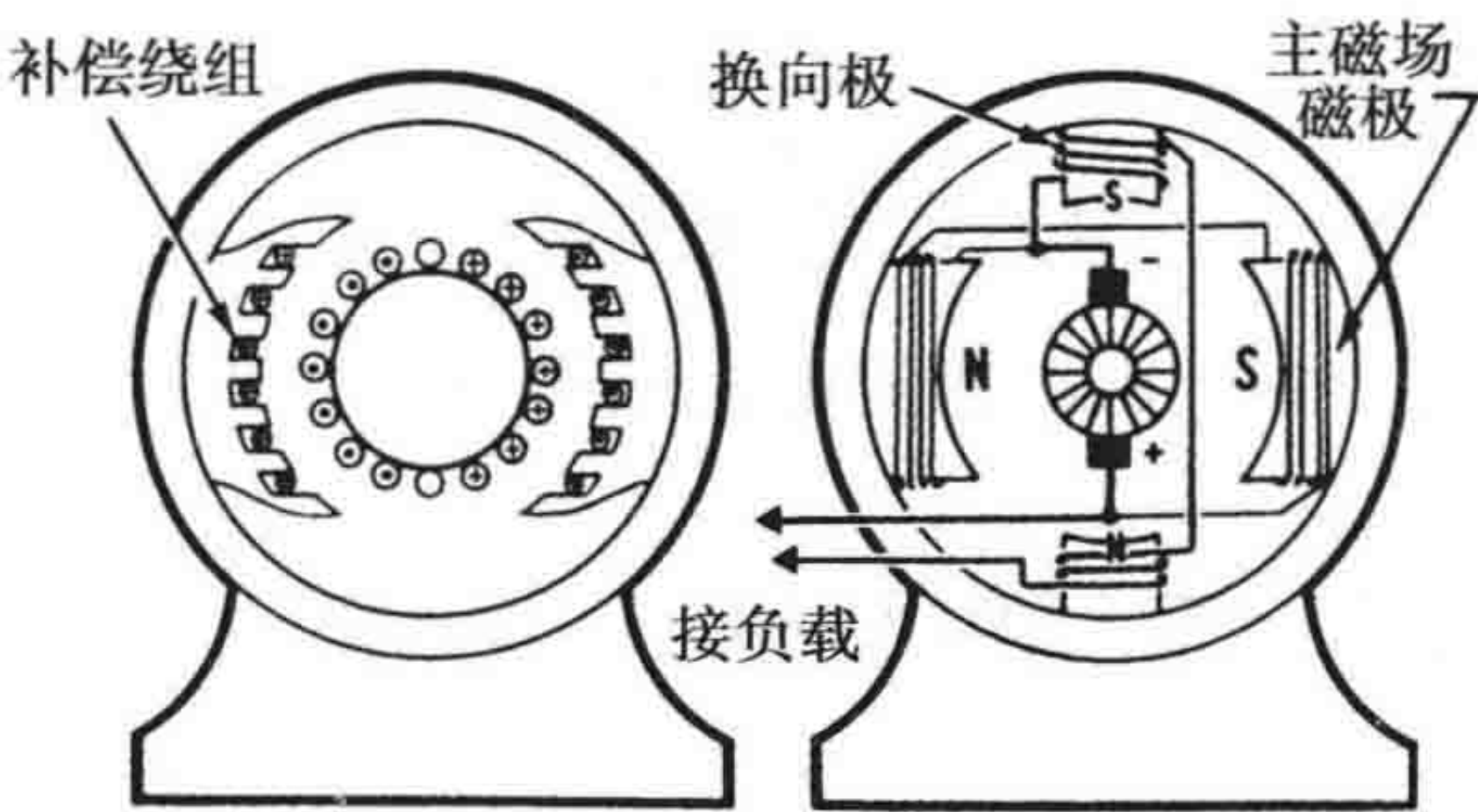


图 8-10 发电机中的补偿绕组和换向极

8.3.13 直流电动机的起动电阻

大多数直流电动机的电枢电阻都很小，大约在 0.05~0.5Ω 之间。反电动势开始不存在，直到电枢开始转动。这意味着有必要使用外接起动电阻与电动机的电枢相串联来保证电枢的起动电流在安全水平内。随着电枢起动旋转，反电动势增加，外加电压被增加的反电动势抵消。这意味着电枢电流会因自身的发电机效应而减小。一旦电动机达到正常转速，与电枢串联的外部电阻会减小或移除，全部的电压将施加在电枢上。

起动电阻可以由操作人员手动控制，也可以通过一些自动装置来控制，这些自动装置通常是一些由电动机速度传感器控制的开关。自动起动器在后面的章节中会涉及。

8.3.14 直流电动机的特性和应用

表 8-1 提供了查询直流电动机特性和应用的快速参考。

表 8-1 直流电动机的特性和应用

速度调整	速度控制	起动转矩	失步转矩	应用
串励直流电动机				
与负载的变化相反，全压轻载时飞速旋转	零到最大，取决于控制和负载	高，随电压的平方变化，受换向、加热及线路容量的限制	高，受换向、加热和线路容量的限制	用在需要高起动转矩和速度可控的地方，如起重机、升降机、门和起动器
并励直流电动机				
从空载到满载，转速下降 3%~5%	任意想要的范围，取决于电动机的设计和系统类型	磁场稳定，随电枢两端电压的变化而变化	高，受换向、加热和线路容量的限制	用在需要恒定转速的地方、起动条件不严格的地方，如风扇、水泵、鼓风机、传送机



(续)

速度调整	速度控制	起动转矩	失步转矩	应用
复励直流电动机				
从空载到满载，转速下降3%~20%，取决于复励的大小	任意想要的范围，取决于电动机的设计和控制系统	比并励高，取决于复励的大小	高，受换向、加热和线路容量的限制	用在需要高起动转矩以及速度相对恒定的地方，如柱塞泵、冲床、剪床、齿轮传动的起重机、传送机、升降机

8.3.15 直流电动机故障排除

用于解决直流电动机问题的方法以及直流电动机故障排除表将在第 23 章中讨论。

8.4 交流电动机

同尺寸的交流电动机比直流电动机便宜，这是因为交流电动机需要的维护少，大多数情况下不需要维修电刷和换向器。由于大多数工业用电都是交流的，所以，这类电动机应用非常广泛。

交流电动机非常适用于恒转速工作的地方，这主要是因为它的速度是由电源的频率决定的。然而，在某些应用场合中，直流电动机比交流电动机更适合。直流电动机的速度更容易改变。在有些情形下，它也可以在很窄的限制范围内控制交流电动机的速度。逆变器类设备使交流电动机变速变得较为容易。我们在此会讨论这些控制的限制。

8.4.1 交流电动机的类型

本章我们会讨论 3 种类型的交流电动机：串励电动机、同步电动机以及感应电动机。同步电动机可以看作是多相电动机，它具有恒定的转速且转子由直流电供电。感应电动机通常为单相或者多相，它的转子通过感应通电。串励交流电动机是一种熟悉的电动机类型，它和已经讨论过的直流电动机相类似。

8.4.2 串励交流电动机

串励交流电动机在电气上和串励直流电动机是一样的(见图 8-11)。用左手定则判断线圈的极性，你会发现电枢和磁场的瞬时极性相互排斥，这意味着会产生电动机效应。若使电流反向，输入的极性也会反向。注意观察会看到磁场磁极仍与电枢磁极相反，这是因为反向会同时影响电枢和磁场。交流输入使得这些反向持续发生，所以电动机将在同一方向上不断旋转。

串励交流电动机的结构与串励直流电动机稍有不同。因为使用的是交流电，因此磁极中使用了特殊的金属材料——硅钢，它很容易就能使磁极极性反向，并且在反向后不会留下剩磁。这也意味着在交流电动机中需要使用叠片结构来降低磁极中产生的涡流。直流电可以很好地给交流串励电动机供电，但是将交流串励电动机用在适合于直流串励电动机工作的场合不会产生相同的效果。

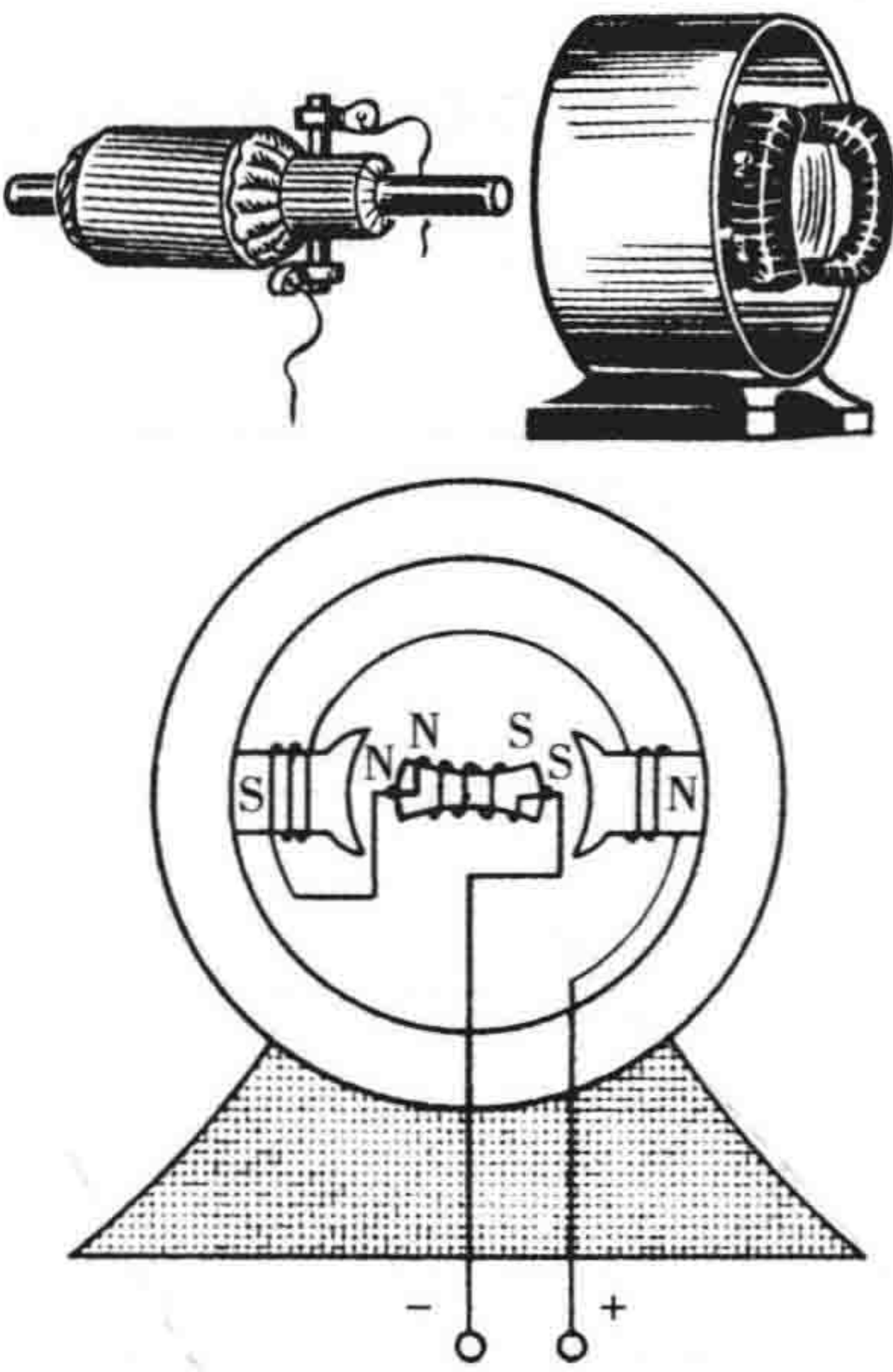


图 8-11 串励交流电动机



交流电动机和直流电动机的特性相似，它们都具有变速特性。负载较重时转速可能很低，负载较轻时转速很高。转速随着负载的变化而变化，负载越大，速度越慢。

通用型电动机的交直流串励电动机，被特别设计为有两种电源。它们的功率通常小于 1hp (1hp=746W)，在真空吸尘器中用得最频繁。通用型电动机不能用多相交流电供电。

8.4.3 交流电动机中的磁场

旋转磁场是交流电动机工作的关键。这是因为交流电流会在定子极间产生一个持续变化的旋转磁场。

定子中的磁场是由交流电产生的旋转磁场，这意味着它可以一圈又一圈地旋转，然后转子产生的另一个磁场追着定子磁场旋转，这可以通过转子磁场被定子磁场吸引和排斥来实现。可以在两相或三相电动机中建立旋转磁场。要在电动机定子中建立旋转磁场，磁极对数必须和外加电压的相数一样或者是外加电压相数的整倍数。每两个磁极间必须相差一定的角度，该角度要和外加电压各相间的相角相等。

8.4.4 两相旋转磁场

两相定子最容易显示旋转磁场。两相感应电动机的定子由两（或者是 2 的倍数）个绕组组成，每个绕组在定子上彼此垂直（见图 8-12）。注意加到相 1-1A 和相 2-2A 上的电压相位差为 90°，也就是说，绕组中的电流彼此相差 90°。线圈中产生的磁场和它们相应的电流同相。两个磁场彼此间存在 90° 的相位差。这两个不同磁场相位的线圈轴线彼此垂直。它们也会在循环周期的每一刻相互叠加。

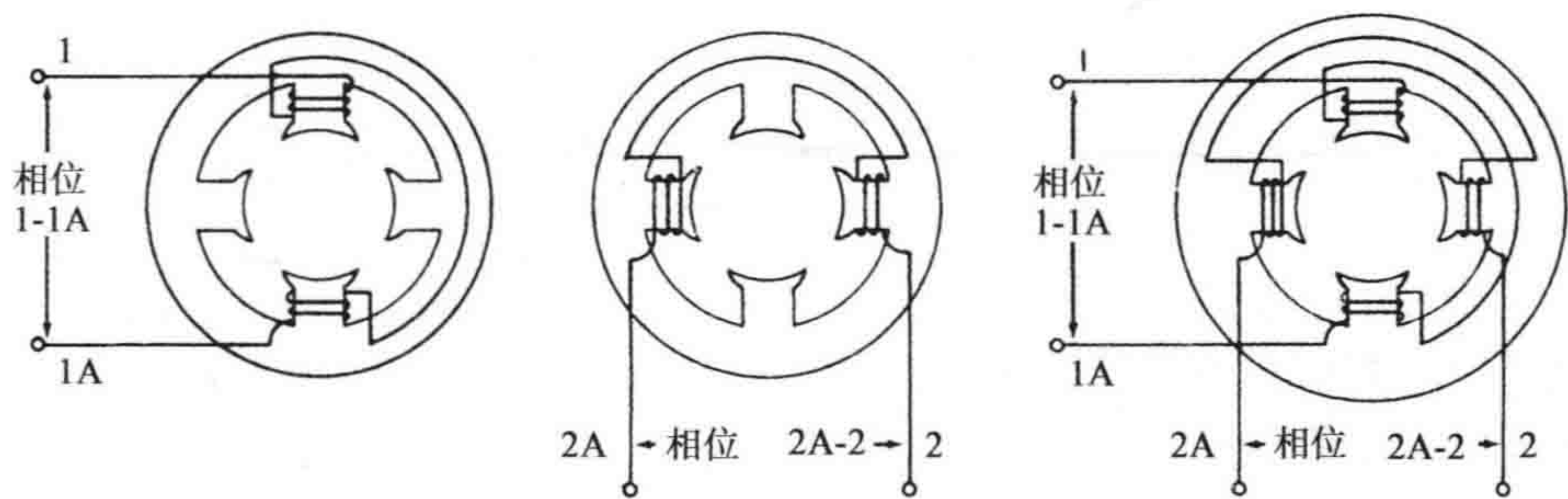


图 8-12 两相电动机的定子

它们产生一个合成磁场，交流电每循环一周旋转磁场也变化一圈。分析两相定子的旋转磁场是怎样工作的，与理解所有交流电动机如何工作是同一种方式。图 8-13 显示了两相旋转磁场。看一下图上 9 个不同的位置，你将看到这两相中的每一相是怎样一步一步旋转的。

箭头代表转子，跟踪箭头方向能显示出转子的旋转是怎样完成的。图 8-13 中的图表显示出了每相的电压。电流的流动方向决定了每个极靴处的磁场极性。注意观察可以看到从一点到另一点，从一个极性到另一极性是按顺时针方向旋转的。输入电压的一个完整周期会使磁极极性旋转 360°。

8.4.5 两相波形

将图 8-13 所示的波形施加到图 8-12 所示的绕组上。注意它们相差 90°。这意味一个处于最大值时，另一个处于最小值。现在仔细看看图 8-13 和位置 1，用①来表示。绕组 1-1A 中的电流和磁场都处于最大（因为相电压处于最大值），绕组 2-2A 中的电流和磁场为零（因



为相电压为零), 因此, 合成磁场沿 1-1A 轴线方向; 在  $45^\circ$  点 (位置②) 时, 合成磁场在绕组 1-1A 和 2-2A 中间, 线圈电流和磁场在强度上等效; 处于  $90^\circ$  (位置③) 时, 绕组 1-1A 中的磁场为零, 绕组 2-2A 中的磁场处于最大值, 合成磁场沿 2-2A 绕组的轴线; 合成磁场从位置①到位置③已经顺时针旋转了  $90^\circ$ 。

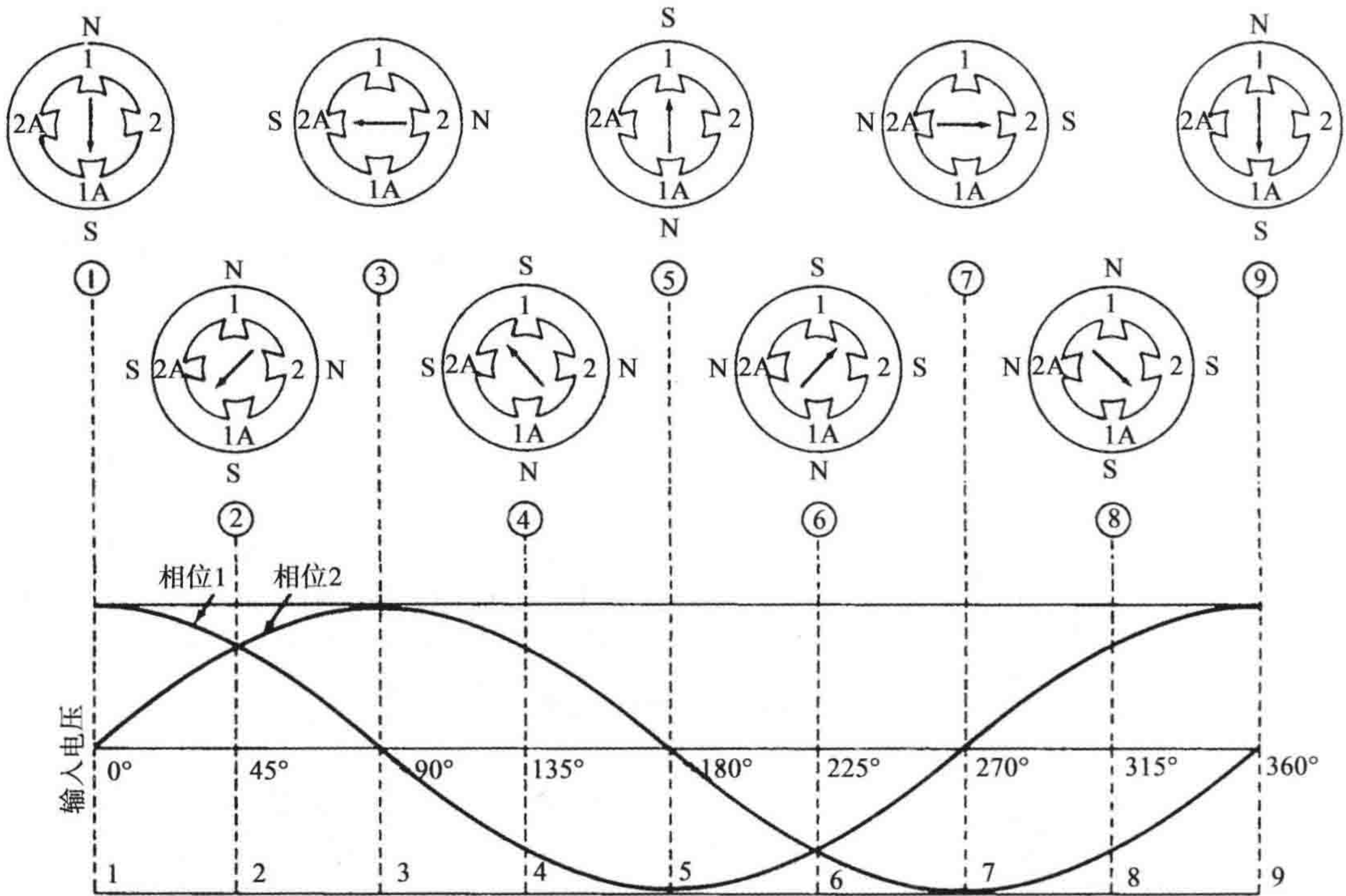


图 8-13 两相旋转磁场

一旦两相电压完成了一个周期的运行到达位置⑨, 合成磁场就旋转了  $360^\circ$ 。这意味着若两个绕组彼此垂直并用相位相差  $90^\circ$  的电压激励它们, 就会产生一个旋转磁场。注意箭头代表了转子当前时刻所处的位置, 位置①为起动位置, 指示转子转过了完整的一圈。

两相电流在美国很少使用。然而, 这里用它为了说明, 单相电动机将起动绕组安装在电路中使转子旋转, 使用了相似的操作。单相和三相电动机使用了同样的旋转磁场原理使转子转动。

8.4.6 三相旋转磁场

三相感应电动机也是依靠旋转磁场的原理运行的。图 8-14 显示了三相操作是如何连接的, 这是 Y 形联结。三相绕组与三相交流电相接, 并产生旋转的合成磁场 (见图 8-15)。

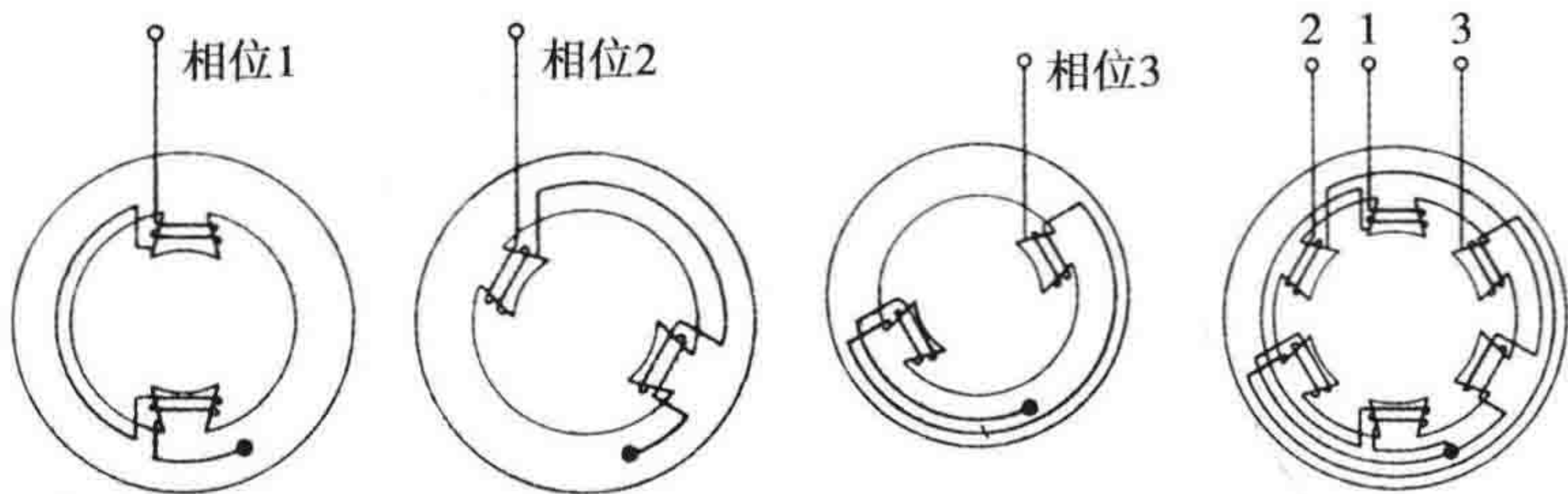


图 8-14 三相定子绕组 Y 形联结



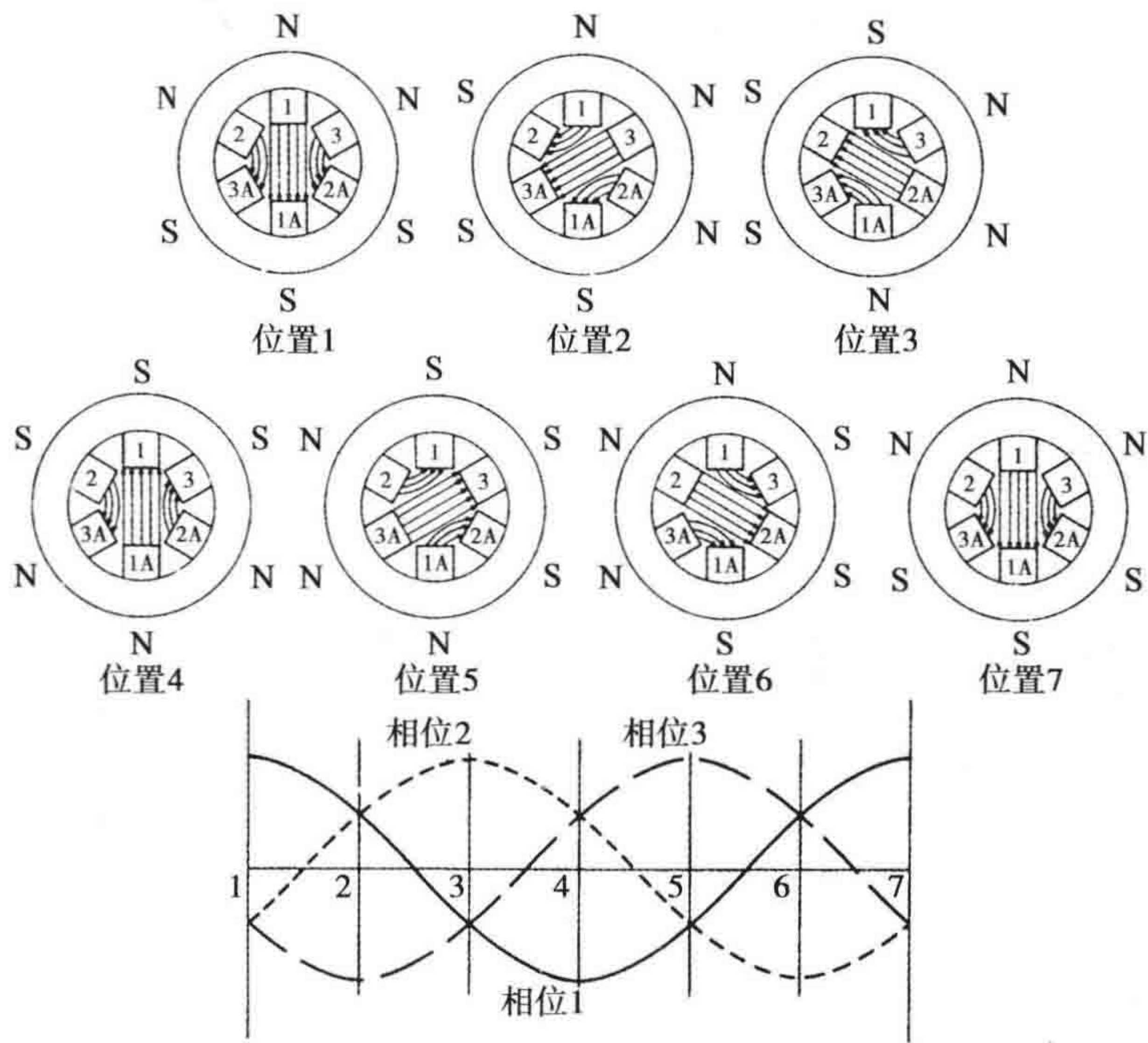


图 8-15 三相旋转磁场的极性和输入电压

图 8-14 显示了三相定子绕组的 Y 形联结方式。点代表此处进行了 Y 形联结。极靴放置互差  $120^\circ$ ，注意 3 乘以 120 等于 360。现在仔细地观察图 8-15，它显示了瞬时极性是如何产生的。图 8-14 中电流流向端子标号时，为正电压，否则为负电压。

现在分析一下图 8-15。注意观察可以看到位置 1 处线圈 1-1A 中磁场最大并检查极性，与此同时，2-2A 和 3-3A 绕组承受负电压。这些负电压会产生较弱的磁场，趋向于加强 1-1A 磁场；在位置 2 处，最大负电压在绕组 3-3A 中，这将产生很强的磁场，并会被 1-1A 和 2-2A 中较弱的磁场加强。现在沿着电压图上的每个点移动，注意合成磁场是按顺时针方向旋转的，这意味着当三相电压完成一个完整的周期到达位置 7 时，磁场已经旋转了  $360^\circ$ 。

如果将永久磁铁放置在这个旋转磁场中，同时有一个轴通过它，并允许磁铁与旋转磁场同步自由旋转，那么你将能看到这个轴是怎样以与旋转磁场一样的速度进行旋转的。要记住这里给出旋转磁场的简化解释是为了展示旋转磁场是怎样使轴旋转起来的，又是怎样将电能转换为可用的机械能的。设计电动机需要使用很多原理，使用它们可以有效地完成很多工作。

8.4.7 同步电动机

同步电动机的主要优点是恒定转速的特性。在某些运行工况下它们可以补偿感性负载的低功率因数，通常用于驱动直流发电机。同步电动机的功率可达上千马力。可以将其设计成单相电动机或者是三相电动机（见图 8-16）。

同步电动机经常空载运行。使用它们可以进行功率因数补偿。将同步电动机并接到电路中对功率因数补偿是很有用的，此时设备的有功功率和补偿前功率因数一样，然而电源



图 8-16 同步电动机的旋转磁场



的线电流却变小了，这可以通过低压直流电的形式给绕线转子励磁来实现。固定电容器通常代替同步电动机进行功率因数补偿。

这种类型的电动机用在需要维持确定转速或补偿功率因数的场合。同步电动机比其他类型的电动机要贵且额定功率较小，但对于具有 100hp 或更高额定功率的电动机而言，这种类型的电动机可能更经济（见图 8-16）。

如果把三相交流电接到同步电动机上，在转子周围就会建立起旋转磁场。转子随之会通入直流电，这样它相当于一个条形磁体，因为直流电会使转子产生固定的 N-S 极性。强旋转磁场吸引由直流电励磁的强定子磁场，这在转子轴上会产生一个很强的旋转力。因此随着它与旋转磁场同步旋转，转子可以带动负载进行工作。

电动机起动是通过在转子上加一个笼形绕组实现的。没有鼠笼式转子的作用，电动机就不能起动。这是因为当交流电加到定子上后，立即会出现高速旋转的磁场效应，这个旋转磁场迅速穿过转子磁极以至于转子没有机会起动。事实上，转子最开始会在一个方向偏转然后反向。在这种最简单的形式中，同步电动机没有起动转矩，只有在以同步转速旋转的时候它才有转矩。同步电动机用于补偿功率因数的时候，需要低于其额定机械负载运行。

8.4.8 笼型电动机

给电动机供电的三相交流电会在定子中建立一个旋转的磁场。这个旋转的磁场切割转子中的导体，感应出电压，并形成流动的电流。这些电流会在转子中建立相反极性的磁场。定子和转子两个相反磁场间的相互吸引产生了使定子旋转的转矩。这就是笼型电动机工作的本质。

笼形绕组可以加到同步电动机转子上使其起动。如图 8-17 所示，笼形绕组为转子的一部分。名字来源于形状——它看上去像一个可以旋转的鼠笼。绕组是用铜环短接在一起的粗铜条，三相定子磁场会在这些短路的绕组中感应出较低的电压。由于短路，鼠笼中会流过相对较大的电流。这会产生一个磁场，它与定子旋转磁场相互作用。因为相互作用，所以转子沿着定子磁场的旋转方向开始旋转，电动机起动。鼠笼也用在单相或其他三相电动机中。

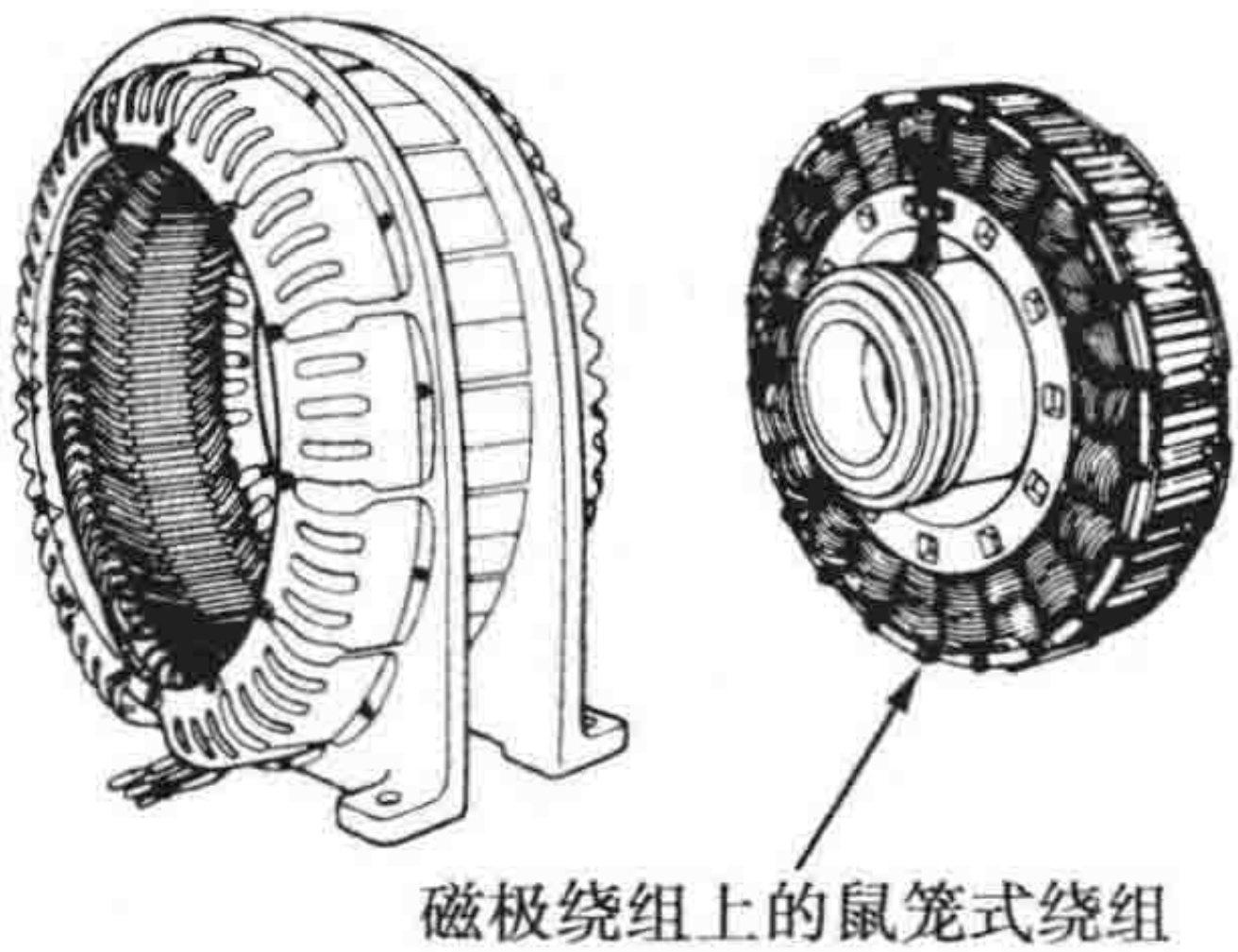


图 8-17 自起动的同步交流电动机

8.4.9 起动同步电动机

为了起动实际工作的同步电动机，要给定子通电，然而此时给转子磁场供电的直流电没有被激励，所以笼形绕组能够将转子的转速拉至接近同步转速，这时产生激励直流磁场，这会使转子的励磁磁场与定子的旋转磁场同步。

当同步电动机开始旋转并达到某一速度时，产生最大转矩，一旦达到同步转速，就可以施加负载了。随着它达到同步转速，一个借助离心力操作的开关被应用于直流电中以给转子供电。转子需要直流电源为其供电，这使得它成为一种操作和维护都很昂贵的机器。直流电源可能是电动机的一部分或者来源于外部发电机。

从讨论中可以看出，和其他类型的电动机一样，同步电动机有优点也有缺点。如果费用不是考虑的因素，那么选择哪种类型的电动机取决于要完成的工作和已有的电源。表 8-2 总结了同步电动机的特性和应用。



表 8-2 同步电动机的特性与应用

转速调整:	恒定
转速控制:	无, 有两个固定转速的特殊电动机除外
起动转矩:	慢速为 40%, 中速为 160%, 功率因数为 80%。特殊设计可产生更高的转矩
牵出转矩:	通用电动机为 170%, 功率因数为 80% 的电动机为 225%, 特殊设计高达 300%
应用:	用于恒定转速, 直接接到低速设备上或需要功率因数补偿的场合

8.4.10 感应电动机

感应电动机是最常用的电动机 (见图 8-18)。它设计简单, 结构坚固, 制造成本相对较低。感应电动机的转子不需要外接电压源, 其名字来源于定子旋转磁场在转子电路中感应出交流电压这个事实。电动机中的感应现象与变压器的一次侧和二次侧的感应现象相类似。转子可以看作是变压器短路的二次侧, 安装在轴上, 由轴承支持, 随定子中旋转磁场的旋转能够自由旋转 (见图 8-19)。

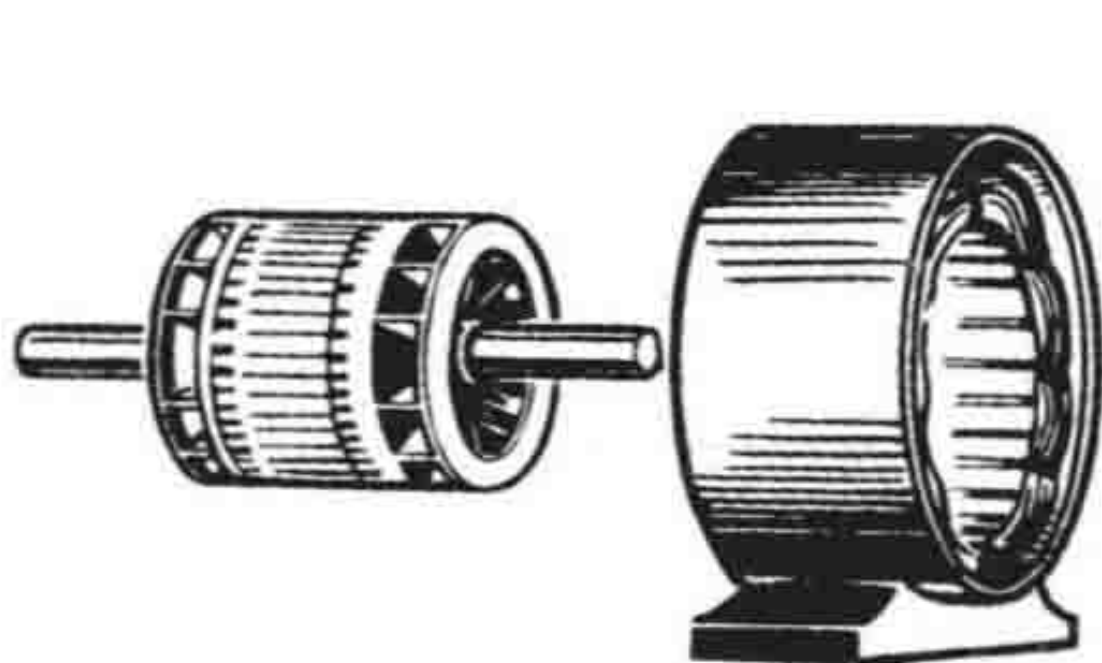
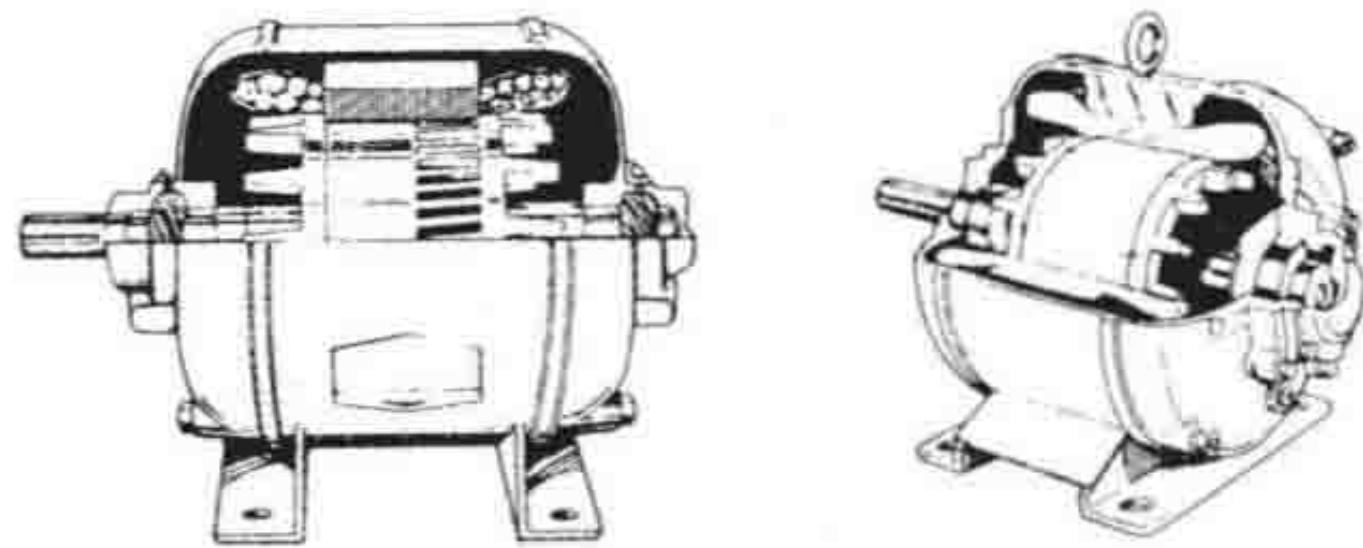


图 8-18 感应电动机



a) 半蚀刻的鼠笼式转子      b) 铸造转子

图 8-19 三相电动机剖视图

感应电动机通常很大且要固定安装。它们以非常恒定的转速驱动负载, 通常用于洗衣机、制冷压缩机、台式砂轮机及台式电锯等设备上。

8.4.11 定子结构

三相感应电动机和三相同步电动机的定子结构几乎相同。然而, 它们的转子完全不同 (见图 8-20)。感应电动机是由表面有槽的叠层圆柱体制成的。这些槽中的绕组是两种类型中的一种, 最常见的类型是笼形绕组。整个绕组是由末尾用铜或黄铜做成的金属环连在一起的重载铜条组成的。由于转子铜条中产生的电压非常低, 因此铁心和铜条之间不需要绝缘。另一种类型的绕组由实际放在转子槽中的线圈组成, 这种类型的转子称为绕线式转子 (见表 8-3)。

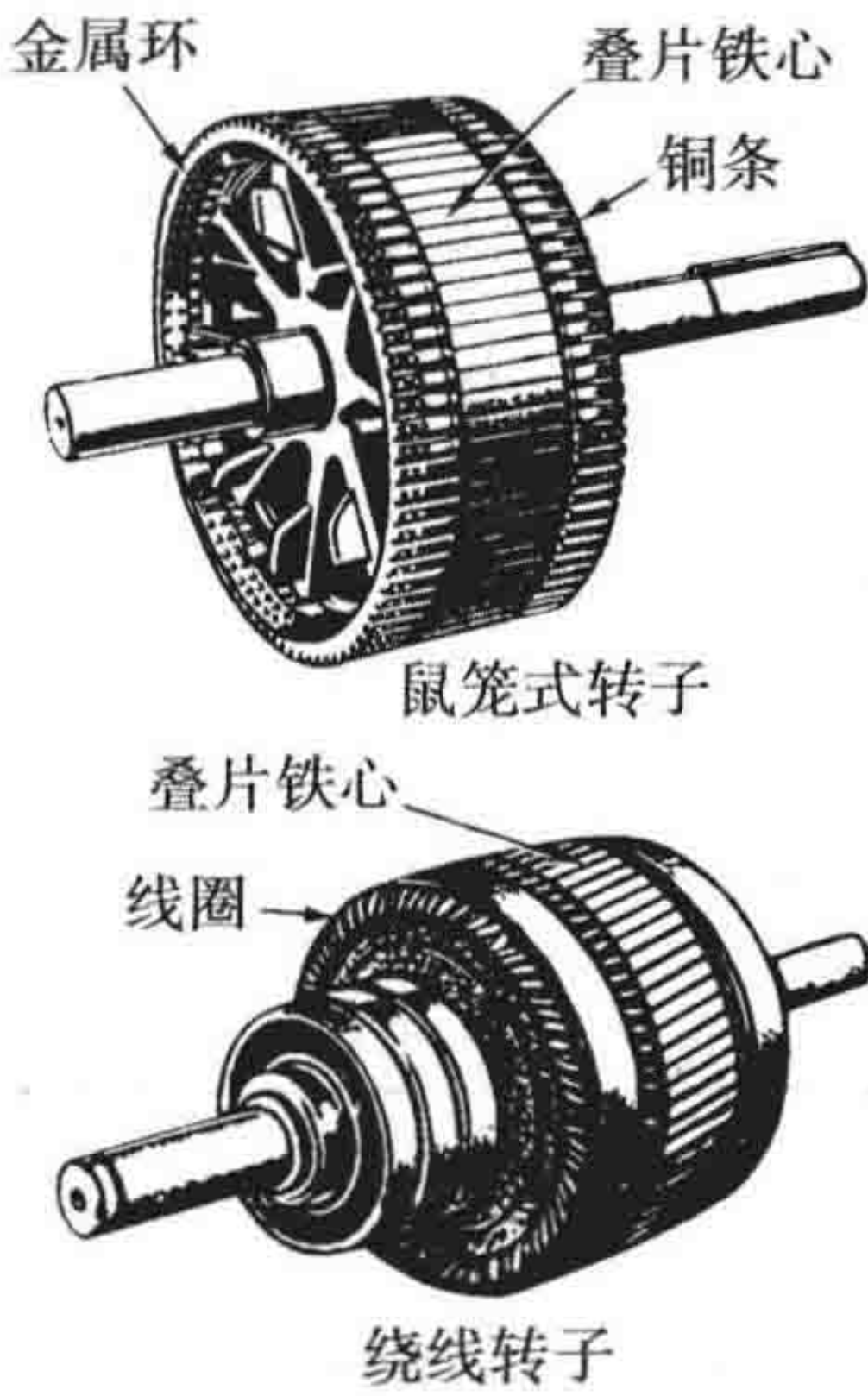


图 8-20 交流感应电动机转子的类型

表 8-3 电动机的特性和应用 (两相和三相)

通用笼型 (分类 B)	
速度调整	大型电动机下降 3%, 小型电动机下降 5%
速度控制	没有, 除了多速类型, 设计有 2~4 个固定速度
起动转矩	两极满载时为 200%, 16 极时设计为 105%
牵出转矩	满载时为 200%
应用	提供恒定转速, 用在起动转矩不高的场合: 风扇、鼓风机、旋转式压缩机、离心泵



(续)

高起动转矩笼型 (分类 C)	
速度调整	大型电动机下降 3%, 小型电动机下降 6%
速度控制	没有, 除了多速类型, 设计有 2~4 个固定速度
起动转矩	高速时为满载的 250%, 低速时为 200%
牵出转矩	满载时 200%
应用	提供恒定转速, 用在需要快速高起动转矩, 且满载起动电流为 400% 的场合: 往复式泵、压缩机、轧碎机
高转差率笼型 (分类 D)	
速度调整	从空载到满载下降约 10%~15%
速度控制	没有, 除了多速类型, 设计有 2~4 个固定速度
起动转矩	为满载的 225%~300%, 取决于转子电阻
牵出转矩	200%, 负载在达到最大转矩过程中一般不失速, 发生在静止时
应用	提供恒定转速和高起动转矩, 用在起动不频繁, 有 / 没有飞轮且带最大负载起动的场合: 冲床、剪切机、升降机
低起动转矩笼型 (分类 F)	
速度调整	大型电动机下降 3%, 小型电动机下降 5%
速度控制	没有, 除了多速类型, 设计有 2~4 个固定速度
起动转矩	高速时为满载的 50%, 低速时为 90%
牵出转矩	满载的 150%~170%
应用	提供恒定转速, 用在起动任务较轻的场合: 风扇、鼓风机、离心泵和相似的负载
绕线转子	
速度调整	具有转子环短路, 大型电动机下降 3%, 小型电动机下降 5%
速度控制	稳定运行时, 速度可以通过转子电阻减小到 50%
起动转矩	高达 300%, 取决于为获得稳定运行的外部电阻, 速度与负载变化相反
牵出转矩	当转子集电环短路时, 为 200%
应用	用在需要低起动电流高起动转矩, 或只需要较小范围内进行速度控制的场合: 风扇、离心泵和柱塞泵、压缩机、传送机、升降机、起重机

8.4.12 转差

感应电动机中转子的速度与旋转磁场的旋转速度不同。如果旋转速度相同, 那么定子和转子磁场间将没有相对运动。若没有相对运动, 转子中将没有感应电压。要想这两者间有相对运动, 转子必须以低于旋转磁场的速度进行旋转。定子的旋转磁场速度与转子速度间的差称为转差。转差越小, 转子速度和定子磁场速度越接近。

转子速度取决于负载对转矩要求: 负载越大, 需要转子转动的旋转力越大。只有当转子感应电动势增加时, 旋转力才能增加; 只有当磁场更快地切割转子时, 感应电动势才能增加; 要增加磁场和转子间的相对速度, 转子必须减速。这意味着与较轻的负载相比, 负载较重时感应电动机的旋转速度较慢。

转差与电动机上的负载直接成比例。由于转子绕组的电阻较小, 负载正常变化时速度的轻微改变对于所需电流变化是很重要的。感应电动机也被称作恒速电动机。



8.4.13 单相感应电动机

单相感应电动机是所有类型的电动机中应用最广泛的一种，它的原始成本最低，且需要的维护很少。每种类型的单相电动机都有很多描述性的名称，例如，分相电容器式、电容器起动式、分相式、罩极式以及固定分相电容器式。当然，其他分类将电容器起动和电阻起动作为总标题“分相”的一部分。

单相电动机的定子磁场不旋转，它只是随着交流电压极性的改变而在各极间轮换极性（见图 8-21）。磁感应强度在转子中感应出电压，因此在转子中会产生一个磁场。这个磁场与定子磁场相反，楞次定律表明：感应电动势与产生它的电动势相反，所以，转子和定子磁场间的相互影响不会产生旋转。取代旋转的是，它还将产生一个与 S 极相反的 N 极，因此，转子静止直到被推动，如图 8-21a 所示。

一旦开始转动（见图 8-21b），转子上的 S 极会被左向磁极吸引。也就是说，转子的 N 极会被右向磁极吸引，其结果是转子被外力旋转 90°。一旦两个磁场间有吸引力，它将成为旋转力，使转子按定子磁场的方向进行旋转。两个磁场持续交替变化，永远不会连成一条线，所以转子一旦开始旋转就会继续旋转下去。下一个问题是要设计一种起动方法，使单相电动机每次起动时不需要借助外部的力来转动它。

单相电动机的基本操作和所有类型的电动机是一样的，但是采用的起动方法为每种单相电动机贴了一个特别的标签。除了罩极型起动方法，还将学习两个稍有不同的电容器起动型和电阻起动型起动方法。

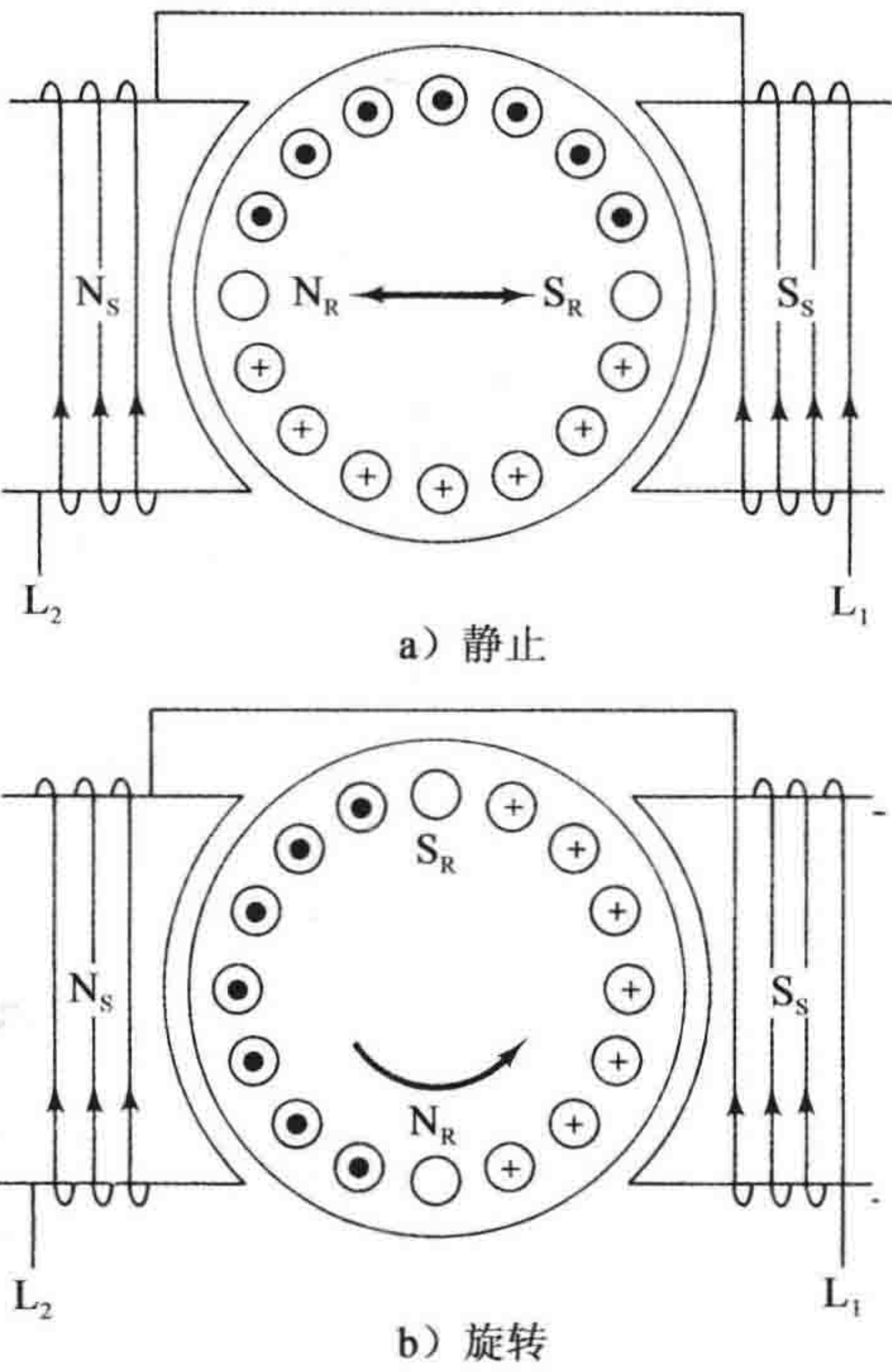


图 8-21 单相感应电动机中的转子电流  
NR、SR 为转子磁场；NS、SS 为定子磁场

8.4.14 分相感应型

分相电动机的设计思想是利用电感、电容或电阻来产生起动转矩。当然，电容器起动型使用的是电容。图 8-22 显示了辅助绕组是如何与电容器串联连接的。该绕组与主（运行）绕组相并联，并相互垂直（90°）。这会在两个绕组间产生 90° 电角度的相差。起动绕组或辅助绕组与一个离心操作的开关相连。当电动机达到大约 75% 的额定转速时，开关打开，断开起动绕组。

当首次接入供电电源时，起动开关闭合，电容器与辅助绕组串联。电容器串联辅助绕组的电路实际上是个阻容电路，由于容抗与电阻相等，因此，该支路中电流超前于外加电压 45°；主（运行）绕组有足够大的电阻和电感量（感抗与电阻近似相等），使电流滞后于电压大约 45°，因此，两个绕组中的电流相位相差 90°。两个磁场也因此相差 90°。其效果是这两个绕组作为两相定子，并产生起动电动机需要的旋转磁场。

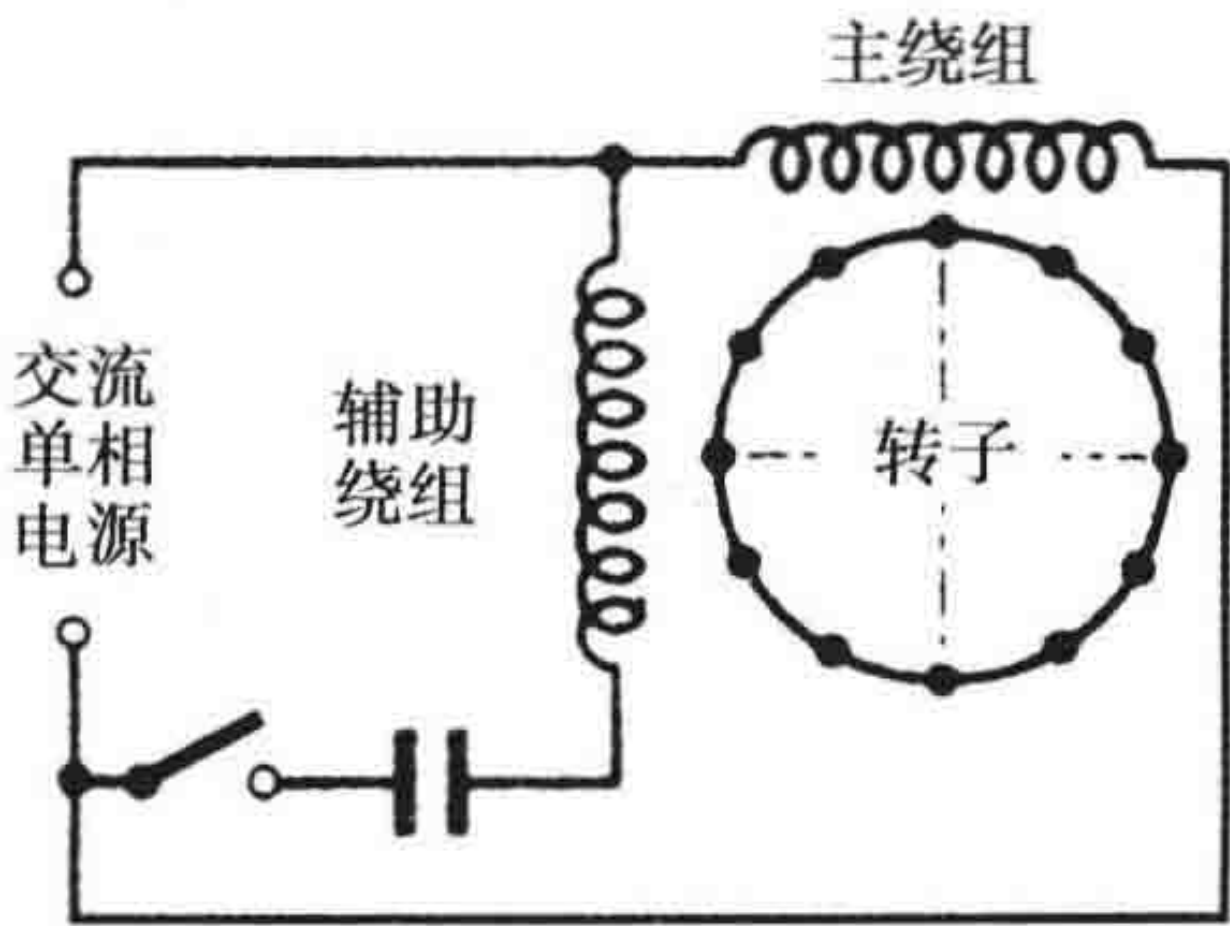


图 8-22 电容器起动型交流感应电动机



一旦电动机开始起动，离心开关打开，将起动绕组从电路中切除，转子继续旋转直到主绕组电源被切除。分相电动机有小功率的，通常小于 1hp，这是因为它们没有足够的起动转矩来处理大的负载。

另一种类型的分相感应电动机是电阻起动型（见图 8-23）。注意观察可以看到有一个电阻与起动绕组串联。辅助电路包括绕组和电阻，它可以通过离心开关接入或脱离电路，辅助绕组和主绕组中的电流相位差是通过绕组阻抗的不等获得的。注意：主绕组有大电感（它的电阻很低），而辅助绕组则由低电感值的电感和大阻值的电阻串联的。因此，由于电感作用，起动（辅助）绕组有滞后的相角。

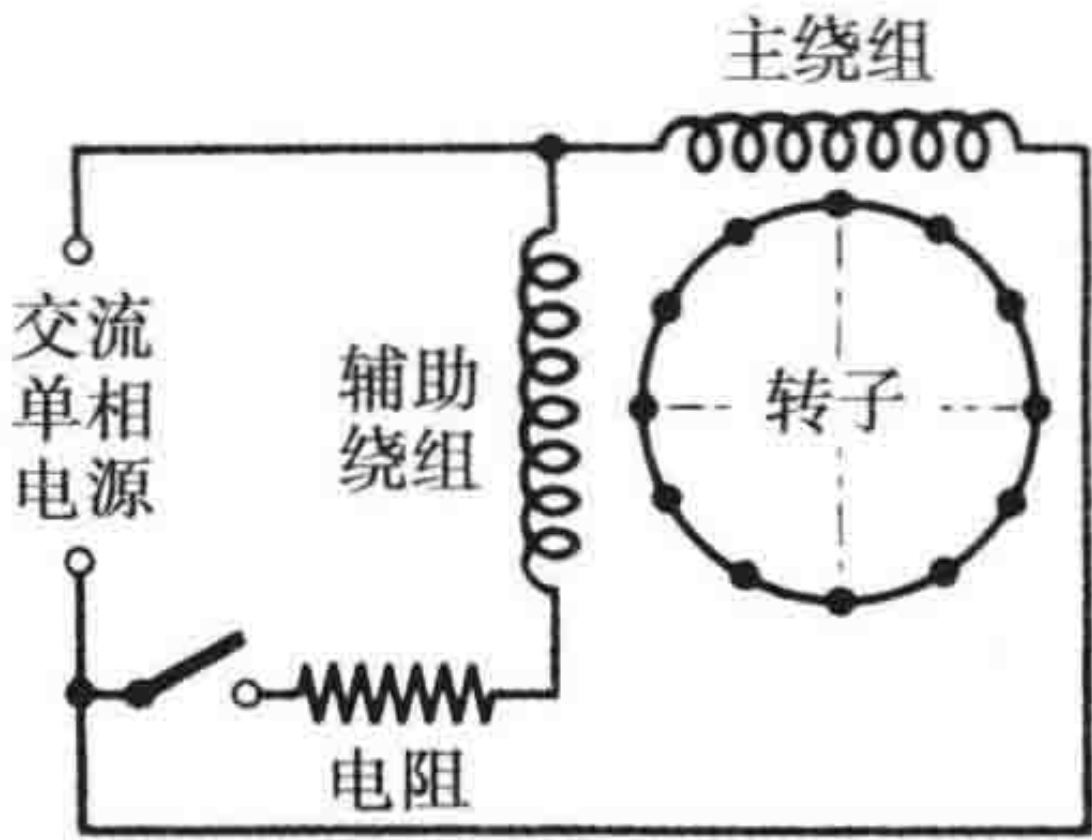


图 8-23 电阻起动型交流感应电动机

起动绕组的相角较小，因此，其电流滞后主绕组电流的角度很小，两者的相位差大约为  $30^\circ$ 。如果电动机的带载状态为轻载或空载，那么这个差值已足够产生使电动机起动的转矩了。一旦转子达到其额定转速的 75% 左右，离心开关就会断开起动电路。

8.4.15 罩极式感应电动机

罩极式电动机也是感应电动机中的一种。它们使用了不同类型的起动设计。通过特殊方式构造的定子可以产生旋转的磁场。这些电动机极靴的设计和某些直流电动机相似。极靴表面部分被称作短路环的铜带（或铜环）所包围。

图 8-24 显示了装有铜带的极靴，铜带使磁场在极靴表面来回运动。注意图 8-24 中磁化曲线上的标号顺序和点。随着交变定子磁场从零（第 1 步）开始增加，磁力线穿过极靴表面并切割铜带，铜带中感应出电压。随之产生的电流会有一个磁场以阻碍主磁场的切割动作（并减弱主磁场）。这会产生如下结果：

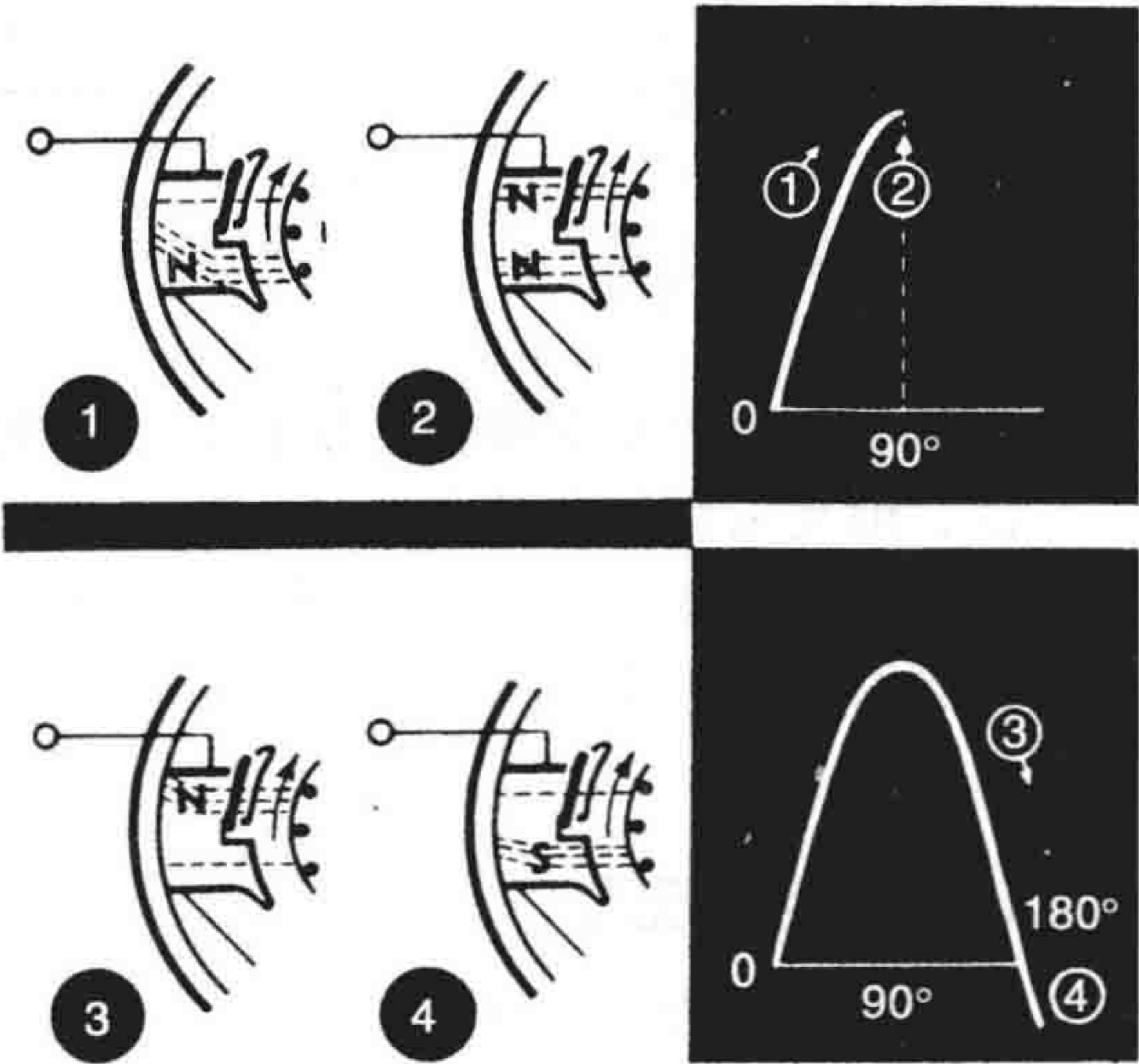


图 8-24 起动罩极式感应电动机

A. 随着磁场由零增加到  $90^\circ$  时，磁场达到其最大值。

B. 大部分磁力线集中在磁极没有被罩住的地方（图 8-24 中 ① 的位置）。

C. 在  $90^\circ$  时磁场达到最大值，并停止增加。在铜带中没有感应电动势，不会产生相反的磁场，所以主磁场如图 8-24 中 ② 所示的那样均匀分布在磁极间。

D. 从  $90^\circ$  到  $180^\circ$ ，主磁场开始减小或向内减弱。铜带中产生的磁场会阻碍磁场的减弱。其结果是磁力线将集中在磁极罩住的部分内，如图 8-24 中 ③ 所示。

E. 从  $180^\circ$  到  $360^\circ$ ，主磁场的变化和从  $0^\circ$ （ $180^\circ$ ）开始时是一样的。然而，要注意如图 8-24 中 ④ 所示的方向相反。

磁场的方向不影响罩极的工作方式。下半周的磁场运动和上半周时是一样的。磁场在罩住和没有罩住的地方往复运动，以产生微弱的转矩起动电动机。由于起动转矩小，罩极电动机的尺寸也很小。它们用于驱动类似风扇、钟、鼓风机、电动剃须刀等设备。很多大型设备



上的定时器电动机就是用罩极式电动机作为钟表机械装置的。

8.4.16 笼型电动机的转速和转差率

笼型电动机的转速取决于电源的频率和电动机的极数。频率越高，电动机转得越快；极数越多，电动机转得越慢。笼型电动机中最少磁极数是 2。两极 60Hz 电动机的转速大约在 3600 转 / 分 (r/min)(见表 8-4)。计算公式：

同步转速 =  $\frac{60 \times 2f}{p}$

式中：f 为电源频率，p 为电动机的极数。对于大多数标准商业电动机（框架尺寸 143T~445T）最多有 8 个磁极。

表 8-4 电动机速度与极数间的关系

极数	60Hz 时的速度	50Hz 时的速度
2	3600	3000
4	1800	1500
6	1200	1000
8	900	750
10	720	600
12	600	500

电动机的实际转速比其同步转速要小。同步转速和实际速度间的差称为转差。如果鼠笼式转子的旋转速度和定子磁场的一样快，那么转子金属条（铝条或铜条）就会和旋转磁场相对静止，参见图 8-25 看一下转子结构。这意味着金属条中不会感应出电压，也不会建立电流产生转矩。既然没有转矩，转子也会停止不动，直到感应出足够大的电流来产生足以维持转子恒定转动的转速。因此，转子的速度比定子旋转磁场的速度要慢。例如，3600r/min 的电动机，转子转速通常为 3450r/min，1800r/min 的电动机，额定负载时的转速为 1725r/min。

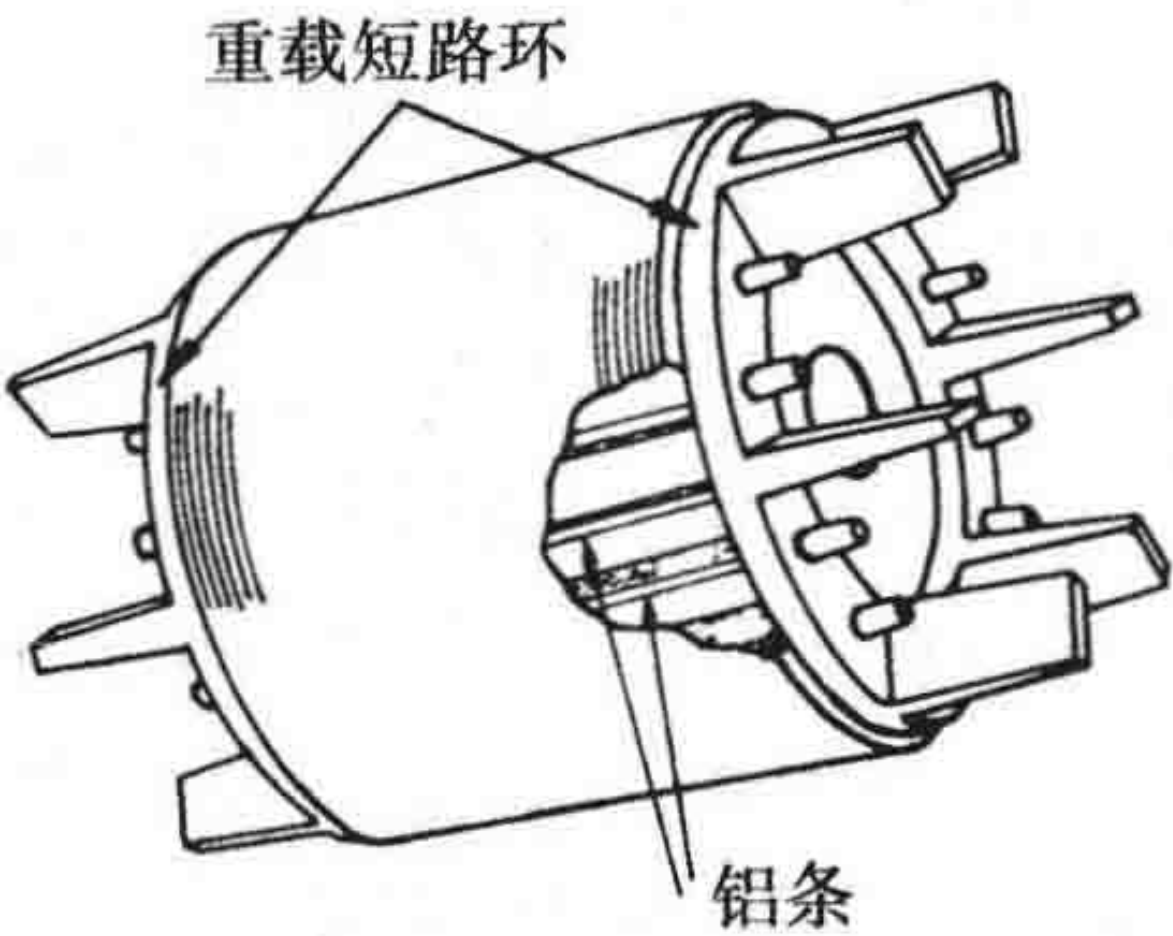


图 8-25 笼型电动机的转子（Lincoln 电气公司产品）

增加电动机负载会使转子转速下降，也就是说，增加负载，旋转磁场切割转子金属条的速度会加快，这导致转子金属条中电流的增加，因此，增加了转子磁场强度。磁场强度的增加，使电动机可以带动更大的负载。转差率通常以百分数的形式表示，用下式可以很容易计算出来：

转差率 =  $\frac{\text{同步转速} - \text{实际速度}}{\text{同步转速}} \times 100\%$

笼型电动机转差率的范围从低于 5% 到大约 20%。转差率为 5% 或更高的电动机用在启动困难的场合。转差率低于 5% 的电动机称为标准转差电动机，因为标准转差电动机的转速随负载的波动变化很小，因此，通常称作恒速电动机。

制造商通常将电动机转速标在铭牌上，表示在额定负载下电动机的额定旋转速度。实际速度比同步转速要低。

8.4.17 旋转

多相笼型电动机的旋转方向取决于电动机与电源的连线。旋转方向能够很容易地通过互



换两个输入端子来改变。

8.4.18 转矩和功率

转矩和功率是决定用在特殊工作环境中电动机尺寸的两个很重要的特征指标。转矩使电动机旋转。转矩的单位用磅力英尺 (lbf · ft)( 1 lbf · ft=1.355 82 N · m); 功率是做功的比率。1hp 相当于 33 000lb 重物每分钟提升 1ft ( 1ft=0.304 8m) 所做的功:

马力= 
$$\frac{\text{转速} \times 2\pi \times \text{转矩}}{33\,000}$$

式中转速单位为 r/min。746W 的电功率相当于 1hp。

8.4.19 堵转转矩

感应电动机提供了一个特别的转矩用来起动负载。典型的电动机转速 - 转矩曲线如图 8-26 所示。这条曲线显示了 NEMA 设计的 B 类型电动机的转矩, 该曲线显示的堵转转矩是额定负载转矩的 210%。

8.4.20 最大转矩

偶尔, 电动机上会突然出现过载。电动机每次发生过载时都要停止转动, 所有电动机都有所谓的最大转矩。最大转矩比额定负载转矩高得多。需要很大的过载才能使电动机停止运行。转速 - 转矩曲线显示了典型电动机的最大转矩为额定转矩的 270%。若电动机长时间过载运行会在电动机中产生过多的热量, 并最终烧坏电动机的绕组。

因为考虑了转矩的各种要求, NEMA 建立了涵盖所有应用的不同设计 (见表 8-5)。这些设计考虑了起动电流、转差以及转矩。这些设计不要和各种绝缘分类相混淆, 它们也是用字母命名的 (见表 8-6)。

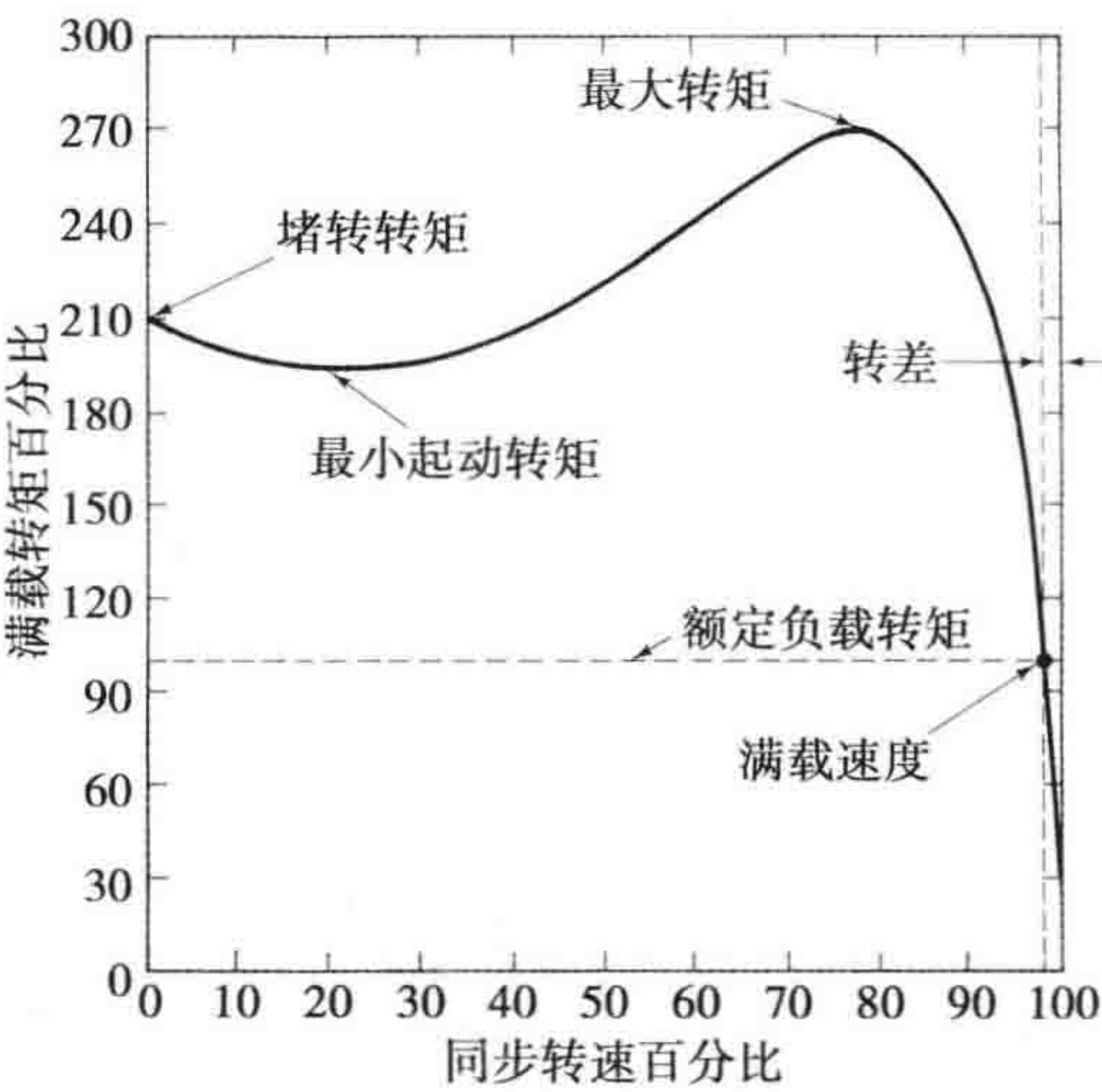


图 8-26 NEMA 设计的 B 类型电动机的转速 - 转矩曲线 (Lincoln 电气公司产品)

表 8-5 转子堵转容量 kV · A/hp

字母	kV · A/hp <sup>①</sup>	字母	kV · A/hp <sup>①</sup>
A	0~3.15	L	9.00~10.0
B	3.15~3.55	M	10.0~11.2
C	3.55~4.00	N	11.2~12.5
D	4.00~4.50	P	12.5~14.0
E	4.50~5.00	R	14.0~16.0
F	5.00~5.60	S	16.0~18.0
G	5.60~6.30	T	18.0~20.0
H	6.30~7.10	U	20.0~22.4
J	7.10~8.00	V	22.4 及以上
K	8.00~9.00		

①表示转子不转 (或堵转) 时, kV · A/hp 的范围包括最低数值, 但不包括最高数值。



表 8-6 绝缘系统的分类

绝缘系统是指与电动机或发电机导体和支撑结构部分相关的绝缘材料的总称。绝缘系统根据系统的热承受能力可以划分为很多个等级，用于表明温度额定值。在电动机和发电机中有 4 个等级的绝缘系统：A、B、F 和 H 等级。这些分类是根据 IEEE 标准 I，电气设备额定值的温度限制通用原则来制定的。	B 等级——B 等级绝缘系统是根据经验或可接受的测试设计的。该级别表明，被考虑的机器工作在温度升至 B 等级指定的温度限制时，有适当的热承受能力的系统
绝缘系统分类如下：	F 等级——F 等级绝缘系统是根据经验或可接受的测试设计的。该级别表明，被考虑的机器工作在温度升至 F 等级指定的温度限制内，有适当的热承受能力的系统
A 等级——A 等级绝缘系统是根据经验或可接受的测试设计的。该级别表明，被考虑的机器工作在温度升至 A 等级指定的温度限制时，有适当的热承受能力的系统	H 等级——H 等级绝缘系统是根据经验或可接受的测试设计的。该级别表明，被考虑的机器工作在温度升至 F 等级指定的温度限制内，有适当的热承受能力的系统

8.4.21 转子堵转容量

在电动机铭牌上标明的并由电动机设计决定的另一个额定值就是转子堵转容量  $kV \cdot A/hp$ 。铭牌上出现的字母对应于各种额定容量（见表 8-5）。

这些铭牌上的代码级别很好地说明了起动时电动机中流过的电流。在字母表中靠前的代码表示起动电流小，字母表中靠后的代码表示起动电流高，它们是特殊额定功率电动机。起动电流可以用如下公式计算：

堵转电流 =  $\frac{1000 \times \text{功率} \times \text{转子堵转容量}}{1.73 \times \text{电压}}$

式中，功率的单位为 hp，转子堵转容量的单位为  $kV \cdot A/hp$ 。

堵转电流对电动机的购买者来说是很重要的，因为它标志着过电流保护装置的工作方式。购买者必须安装足够粗的导线来承受需要的电流，并选取合适规格的熔断器。

8.4.22 起动笼型电动机

笼型电动机通常设计成全压起动。这意味着通过合适的接触器将电动机直接接到了电源上。大型的笼型电动机和一些其他类型的电动机，起动电流非常大。通常，电动机能够承受这些大电流。然而，因为这些电流几乎是额定电流的 6 倍，所以在电力系统中，可能会造成较大的电压降，因此，必须采取一些减少起动电流的方法将电压降限制在可以承受的范围。减压起动在另一章中将会介绍。电动机使用的机械公式和电气公式的总结见表 8-7。

表 8-7 公式归纳

机械公式	电气公式	
转矩 (lbf · ft) = $\frac{hp \times 5252}{\text{转速}}$ hp = $\frac{\text{转矩} \times \text{转速}}{5252}$  同步转速 = $\frac{120 \times \text{频率}}{\text{磁极数}}$  经验值 (近似值) ① 1800r/min 时，电动机产生的转矩为 3 lbf · ft/hp 1200r/min 时，电动机产生的转矩为 4.5 lbf · ft/hp 575V 时，三相电动机流过 1 A/hp 460V 时，三相电动机流过 1.25 A/hp 230V 时，三相电动机流过 2.5 A/hp  温度转换 $^{\circ}C = (^{\circ}F - 32) \times \frac{5}{9}$ $^{\circ}F = (^{\circ}C \times \frac{5}{9}) + 32$	待求量	交流电流：三相
	已知 hp 求电流	$\frac{hp \times 746}{1.73 \times E \times \text{Eff} \times PF}$
	已知 kW 求电流	$\frac{kW \times 1000}{1.73 \times E \times PF}$
	已知 kV · A 求电流	$\frac{kV \cdot A \times 1000}{1.73 \times E}$
	kW	$\frac{1.73 \times I \times E \times PF}{1000}$
	hp (输出)	$\frac{1.73 \times I \times E \times \text{Eff} \times PF}{746}$
	式中：	
	I 为电流	kV · A 为千伏 · 安
	PF 为功率因数	Eff 为效率
	E 为电压	kW 为千瓦

①低功率低转速的电动机不适用。



8.5 思考题

1. 什么是电动机的右手定则？

2. 描述一下直流电动机的电枢。

3. 什么是反电动势？

4. 负载对电动机有什么影响？

5. 直流电动机的 3 种类型分别是什么？

6. 列出串励电动机的优点。

7. 列出并励电动机的优点。

8. 短复励和长复励电动机的区别是什么？

9. 什么装置可以控制直流电动机的转速？转速控制是怎样实现的？
10. 描述电枢反应。

11. 描述电动机中的发电机效应。

12. 交流电动机的 3 种类型分别是什么？

13. 哪种类型的电动机既可以使用直流又可以使用交流？

14. 同步电动机的主要优点是什么？

15. 笼型电动机的名字是如何由来的？

16. 同步电动机是如何起动的？

8.6 练习题

表 8-7 显示了一些计算电动机转矩和功率损耗的数学经验式。

1. 根据经验近似算法，计算转速为 1800r/min 时三相电动机产生的转矩是多大？

2. 根据经验近似算法，计算转速为 1200r/min 时三相电动机产生的转矩是多大？

3. 输出功率为 10hp 时，575V 的三相电动机流过多大的电流？

4. 输出功率为 10hp 时，460V 的三相电动机流过多大的电流？

5. 输出功率为 10hp 时，230V 的三相电动机流过多大的电流？

6. 效率为 80%，功率因数为 0.8，输出功率为 10hp
- 的三相电动机，如果外加 230V 的电源电压，则产生多大的电流？

7. 功率因数为 0.85 的 100kW 电动机连接到三相电源上，外加电压为 240V 时线路流过多大的电流？

8. 如果 240V 的三相电动机容量为 10kV · A，那么将流过多大的电流？

9. 额定效率为 80%，功率因数为 0.75 的三相电动机接到 240V 电源上时，流过 10A 的电流，其功率为多大马力？

10. 6 极同步电动机接到 240V/60Hz 的线路上，它的旋转速度为多大？



### 9.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 描述同步时钟定时器与固态定时器的区别。
2. 绘制出带有延时继电器的控制电路的梯形图。
3. 列举出通用继电器的用处。
4. 解释可编程定时器的工作原理。
5. 理解在电子计数器中设置时间计数的指轮开关是如何工作的。
6. 描述双列直插式封装（DIP）开关。
7. 解释气动式延时继电器的优点。
8. 解释顺序控制。
9. 列举在工业生产中传感器的应用。
10. 解释固态电平控制器是如何工作的。
11. 确定多种材料的介电常数。
12. 描述热敏电阻与热电偶的区别。
13. 描述应变计的操作。

### 9.2 时间与定时器

在所有的工业活动与商业活动中，时间都是很重要的。合适的时间控制使生产计划与产品需求都能够得到满足。对机器操作进行时间控制是一项重要的功能，需要合适的装置来完成这个工作。许多类型的工业定时器都可用于控制机器的操作。大多数情况下，对驱动机器工作的电动机进行控制是很有必要的。定时器通常有以下几种类型：通用定时器、气动定时器、可编程定时器与固态定时器。

当然，还有一些特殊用途的定时器，如焊机及其类似设备所需要的定时器。一些设计好的装置可以控制复杂操作与生产计划，这些装置需要确保任务能准确按时地完成。定时器的控制精度可达到几分之一秒，而总时间则是几小时，有时会是一年。定时器由3部分组成：阻尼器、同步时钟、电子定时器。

与老式机械定时器相比，电子定时器价格更低，可靠性更高，正在获得越来越多的青睐。由于每周都会有几种设计好的新型定时器发布出来，因此我们最好能够利用网络保持信息不断更新。



9.3 阻尼式或气动式延时定时器

阻尼式（气动式）定时器（见图 9-1）是对一个带可变孔径的气压室进行操作实现延时的。当电压加到继电器线圈上时，衔铁推动薄膜，空气从气压室中排出。延时时间的长短由空气排出气压室的速度来决定。

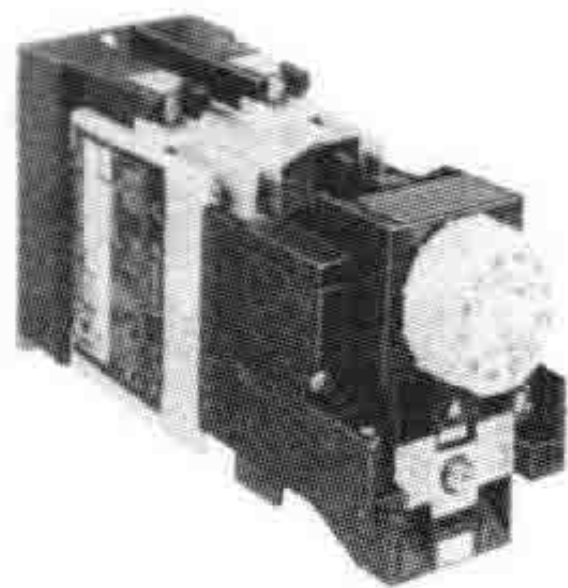


图 9-1 气动式延时继电器 (Square D 产品)

9.4 同步时钟定时器

使用同步电动机可以驱动定时机构（见图 9-2）。由于同步电动机的工作依赖于线电压的频率，而不受线电压波动的影响，因此同步电动机的工作十分准确。此类定时器可有一个或多个触点，这些触点的断开与闭合由时钟的指针位置来确定。

指针设定位置即为触点闭合时间，这意味着可以通过时钟获得低至 1min，高至 12h 的时间延时，有些时钟可以实现几秒的延时。例如，暗室中用于胶卷显影的定时器就是关于时钟定时器的一个很好的应用。

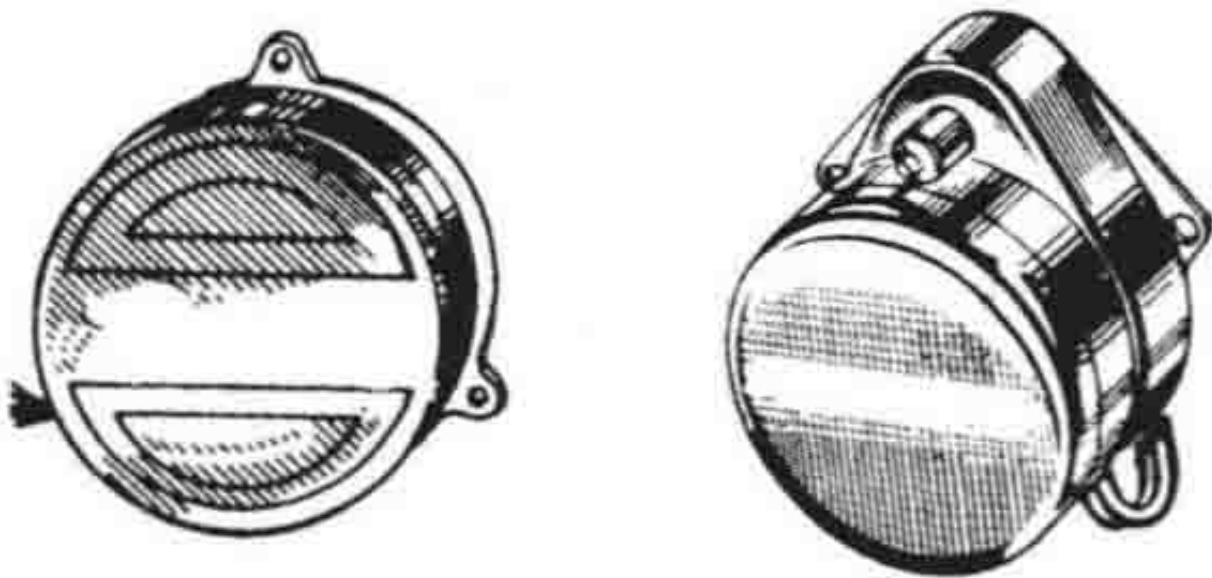


图 9-2 驱动定时器的同步电动机

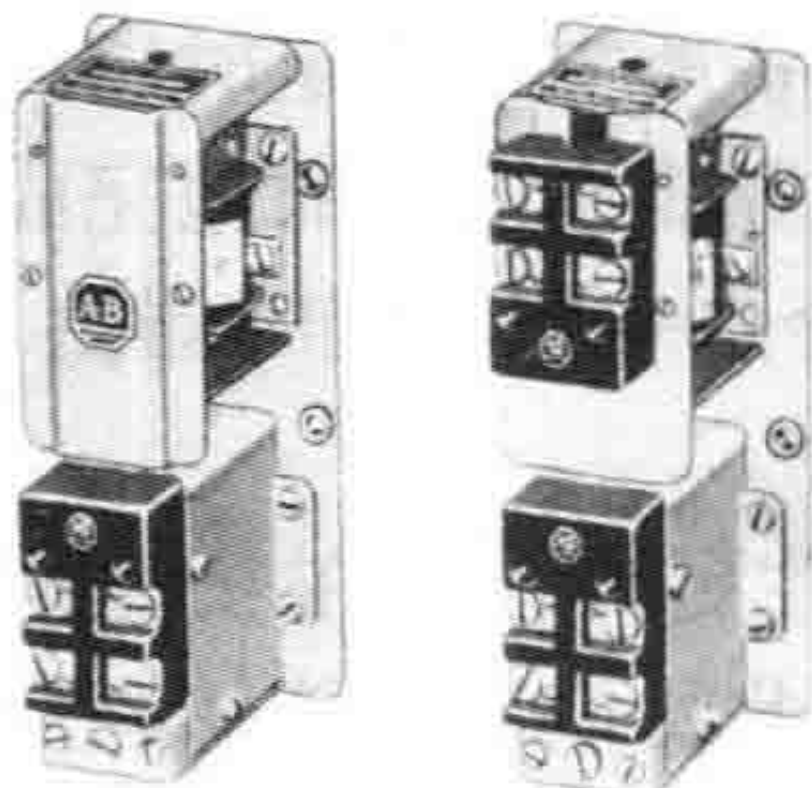
9.5 固态定时器

固态定时器具有更高的准确性并且它的功能更多，它正逐步成为工业标准。尽管其价格有继续下降的趋势，但它还是成为了最可信赖的定时器。在大多数情况下，因为没有运动部件，所以通常不会出现问题或者需要维护。固态定时器的延时时间由电阻 - 电容（RC）网络设定，开关动作通常由晶闸管（SCR）来完成。大多元件都封装在环氧树脂材料中。

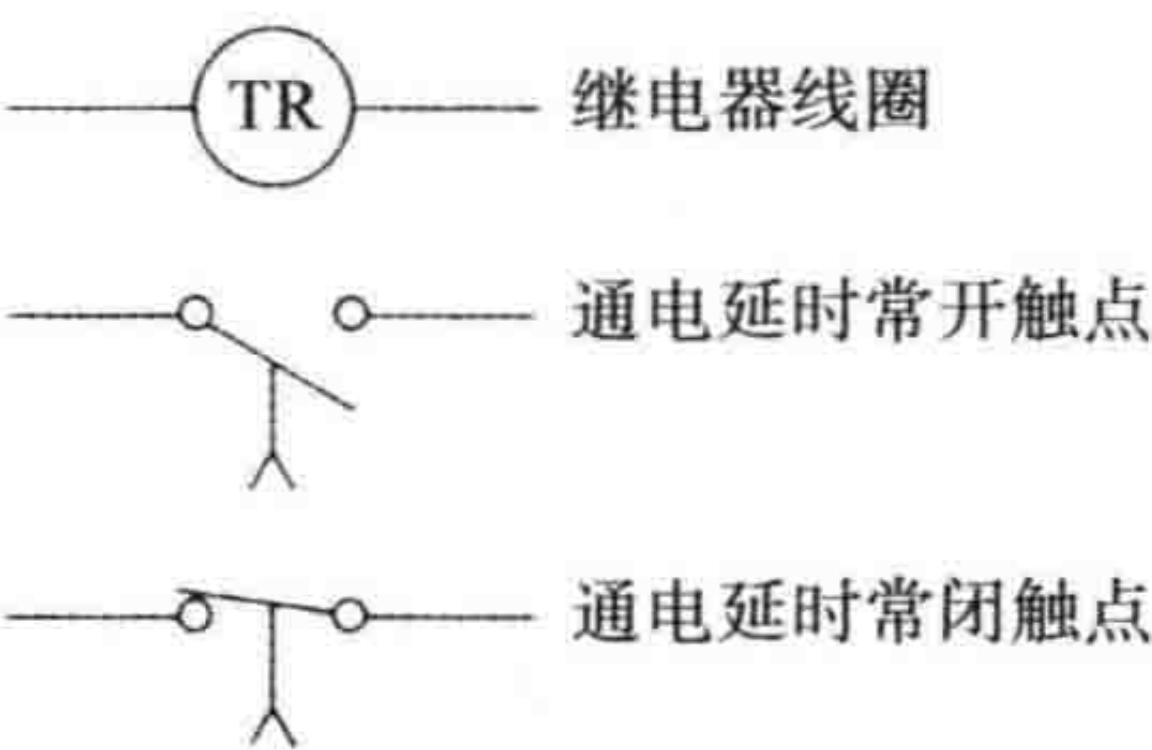
9.6 延时继电器

气动式继电器有一个用合成橡胶制成的波纹管，用来控制跳闸时间（见图 9-3）。当具体应用需要较高的定时精度和较宽的定时范围时，这类定时器比流体阻尼式定时器更合适。这些气动式时间继电器有的定时范围为 0.05~180s，重复精度为 ±10%。为确保重复精度，应当保证至少有 75ms 的复位时间。倘若不需要 100% 的准确度，时间段可以调整到 180s（3min）以上。

可以设定继电器的延时时间，这样触点闭合或开启时会有一个延时。当延时继电器的线圈通电后，继电器的触点在改变状态之前，会经过一段时间。图 9-3 所示为通电延时继电器的原理图符号。



a) 通电延时定时器 (Allen-Bradley 产品)



b) 通电延时继电器线圈及其常开常闭触点的图形符号

图 9-3 通电延时定时器



图 9-4 所示为带有通电延时继电器的控制电路的梯形图。按下开始按钮，控制继电器（CR）得电，其常开触点闭合，此时即使松开开始按钮，控制继电器（CR）依然处于得电状态。继电器触点 CR1 与 CR2 闭合后，时间继电器（TR）线圈两端便有了电压。由于触点 TR1 是通电延时触点，所以即使时间继电器线圈两端加上了电压，触点 TR1 也不会立即闭合。经过一段预先设定好的时间后，TR1 才闭合，指示灯变亮。

通电延时继电器在线圈通电之后经过一段时间，触点才会闭合，通电延时继电器由此而得名。如果电路有一个通电延时的常闭触点，则这个通电延时的常闭触点也会延时一段时间断开。当电路断电时，所有触点状态立即回到线圈失电时的通常状态。

断电延时继电器的符号如图 9-5 所示，该继电器具有常开触点与常闭触点。断电延时继电器的线圈加上电压后，其触点会像一般控制继电器那样，立刻改变状态。常开触点闭合后，只要线圈上有电压，它就会保持闭合的状态。即使线圈上不再有电压，在设定时间内触点依然会保持闭合状态。只有继电器线圈失电超出了设定时间后，触点才会回到它们的常态。

图 9-6 所示为一个有断电延时继电器的控制电路的梯形图。按下开始按钮，继电器线圈（CR）带电，常开触点 CR1 闭合，然后松开开始按钮，由于 CR1 闭合，所以线圈 CR 维持带电状态，常开触点 CR2 也闭合，线圈 TR 带电，触点 TR1 立即闭合，指示灯变亮。按下停止按钮，线圈 CR 失电，所有 CR 的触点断开，TR 线圈也失电。但是，触点 TR1 依然保持闭合，指示灯保持亮的状态，直至延时继电器的设定时间结束，触点 TR1 断开，指示灯熄灭。

9.7 通用时间继电器

通用时间继电器用途广泛，可用于机器设备的自动控制、顺序控制、供热 / 制冷操作以及加热延时等。大多通用时间继电器设计成插入式（见图 9-7）。插入式底座与老式真空管的八引脚底座很相似。事实上，这种类型的时间继电器可以与某些真空管插座通用。值得注意的是插槽的形状指出了开始的引脚或者说引脚 1 以及引脚 8 的位置。引脚在插槽上以顺时针方向排列。然而，当你看向插座底端时，为了与插座进行连接，需要从反方向计数。一些定时器有 11 个引脚的底座。某些情况下，可以通过调整盒子顶部的旋钮，使延时时间范围在 0.1~10s 之间，其他的情况可以进行相应调整（见表 9-1）。

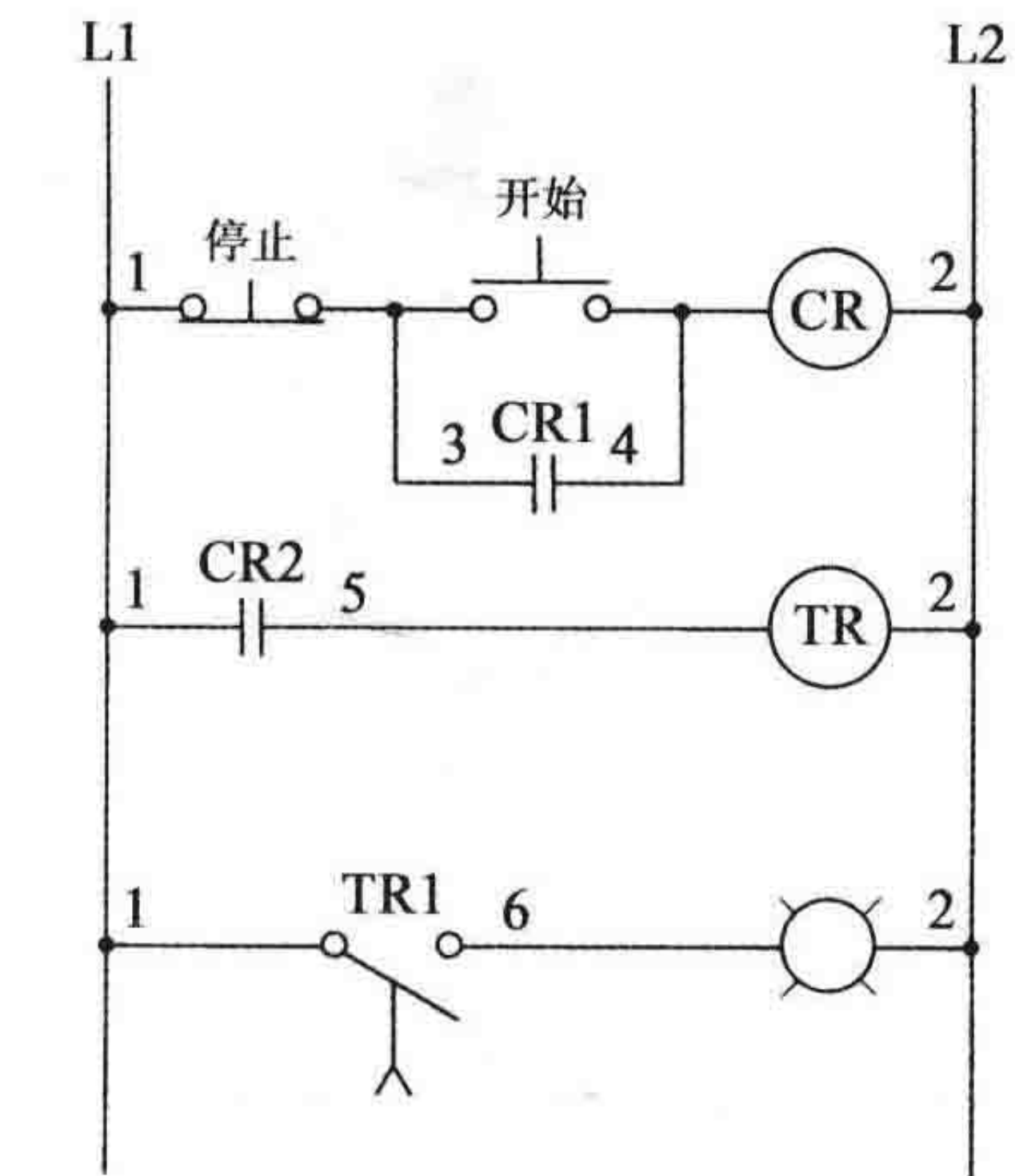


图 9-4 带通电延时继电器的控制电路的梯形图

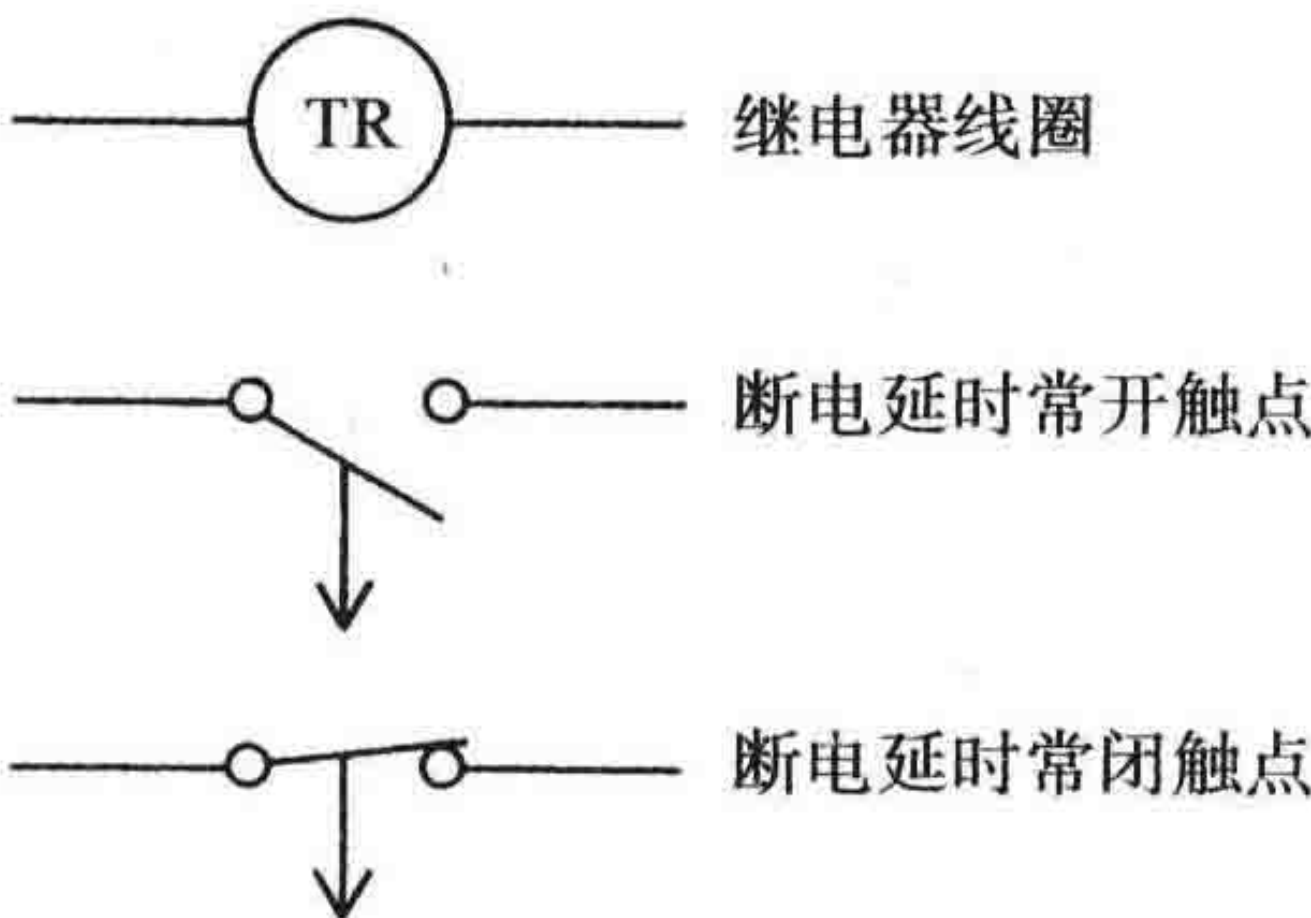


图 9-5 断电延时继电器线圈及其常开触点与常闭触点的图形符号

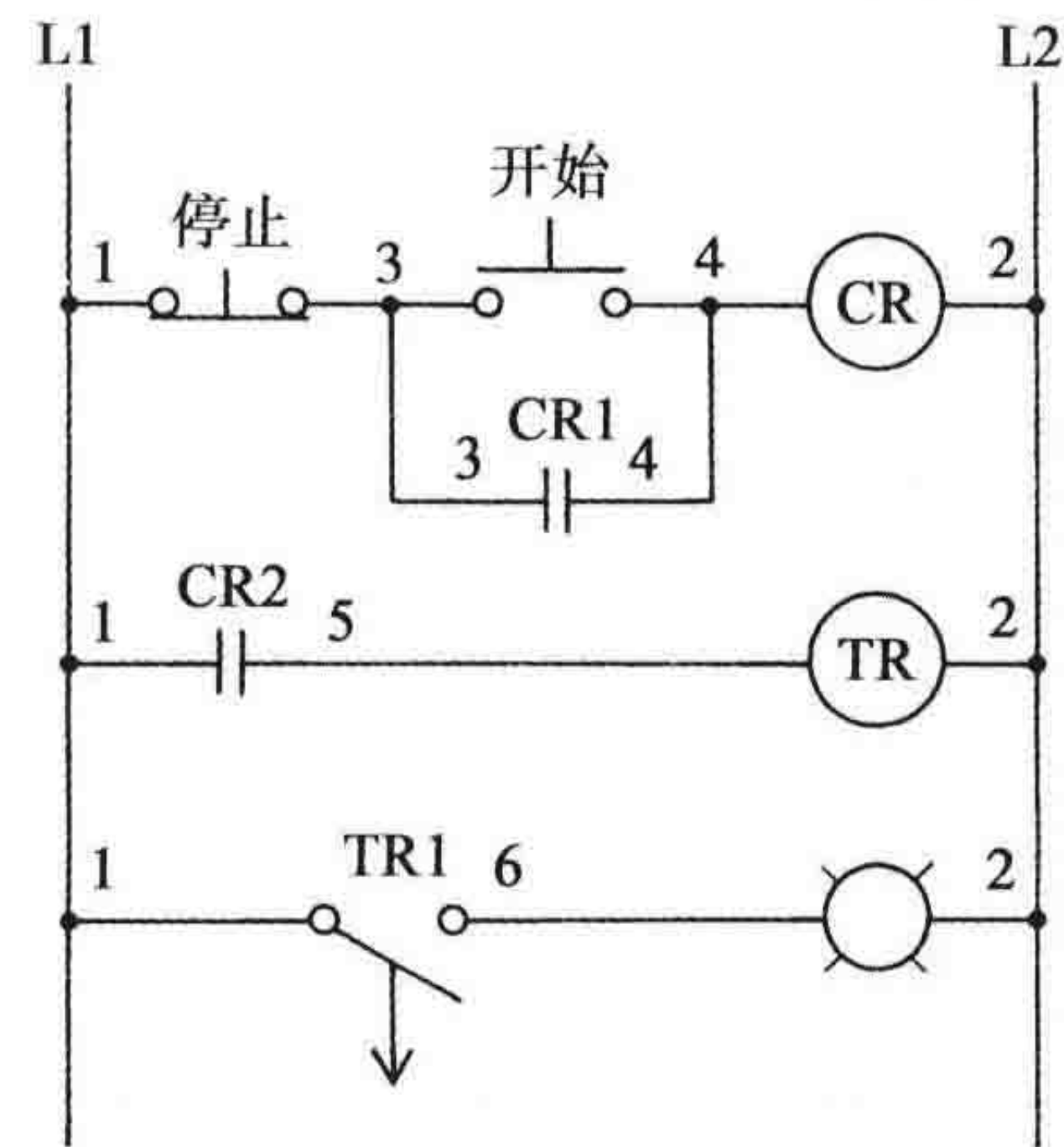


图 9-6 带有断电延时继电器的控制电路的梯形图



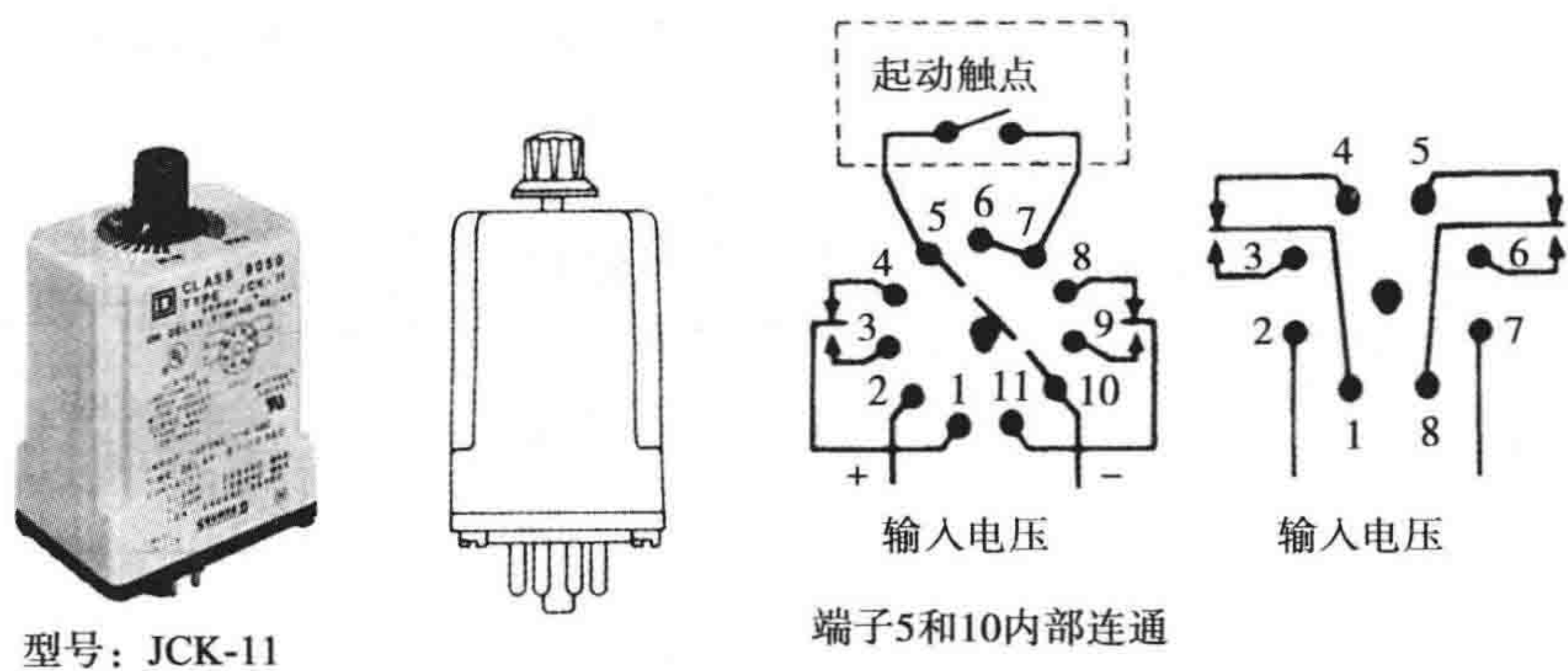


图 9-7 固态通用时间继电器（Square D 产品）

表 9-1 时间继电器

(a) 可变时间的延时继电器 <sup>①</sup>		
0.1~10s 0.3~30s 0.6~60s 1.2~120s 1.8~180s	带有 CMOS 电路的集成电路提供了准确的时间延时	
0.1~1min 0.3~30min 0.6~60min 1.2~120min		
带有 CMOS 电路的集成电路提供了准确的时间延时		

(b) 固定时间的延时继电器	
定时模式	定时范围 (s)
通电延时	1~80
	181~3600
断电延时	1~180
	181~3600
间隔	1~180
	181~3600
单触发	1~180
	181~3600
重复循环	1~180
	181~3600

①固定重复循环的定时器有着相同的接通和断开时间。

9.8 可编程定时器的控制

可编程定时器由微处理器控制，可提供灵活而又精确的定时。通电延时定时器有 5 段可编程的定时范围：

- 0.5~9.99s
- 0.1~99.9s



- 1.0~999s
- 0.1~99.9min
- 1.0~999min

一个五位的旋转开关用于选择定时范围，3 个指轮按钮用于选择时间值（见图 9-8），定时模式如图 9-9 所示。这些继电器消耗功率约 1.2VA，因此固态继电器耗电极少。

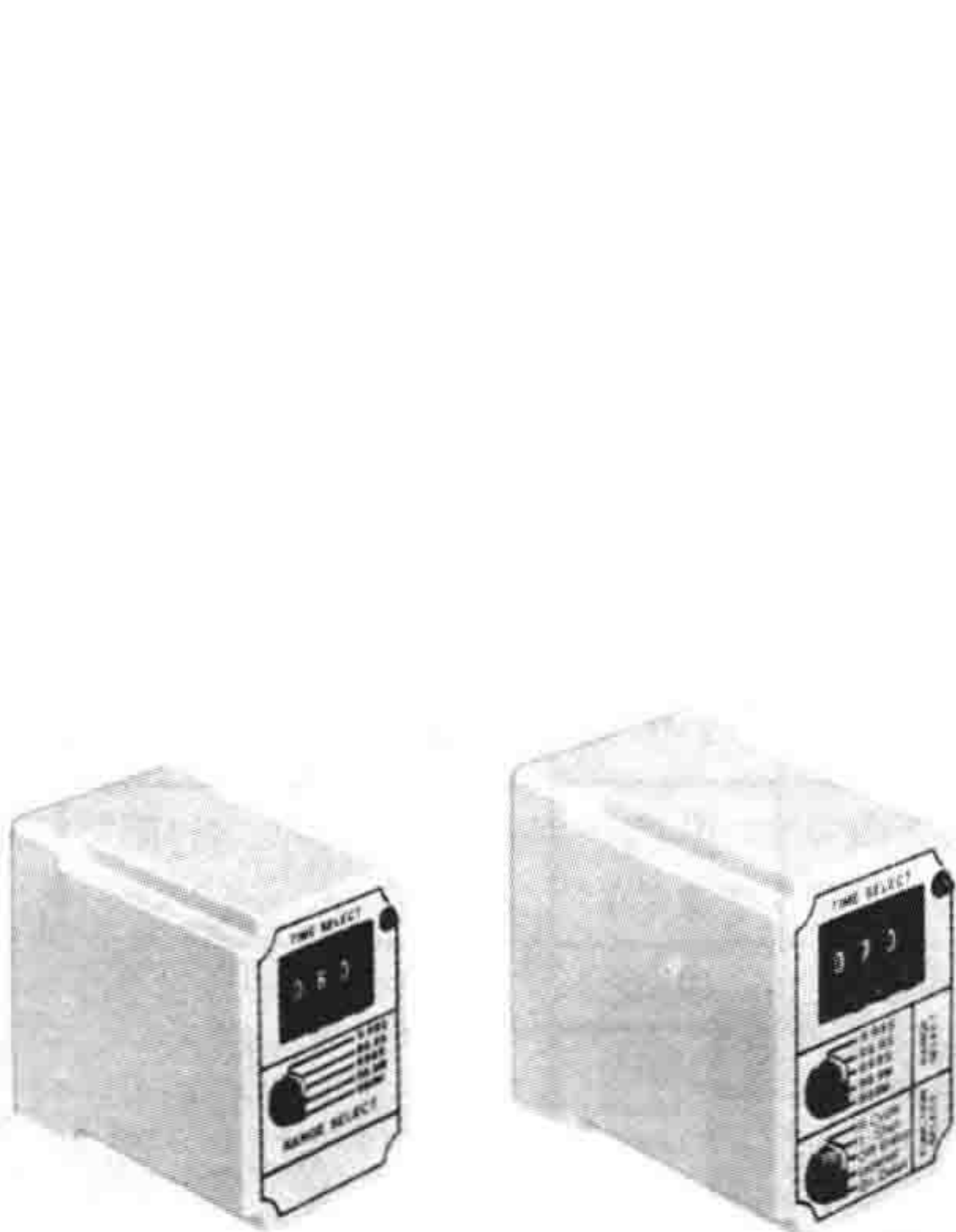


图 9-8 可编程定时器（Square D 产品）

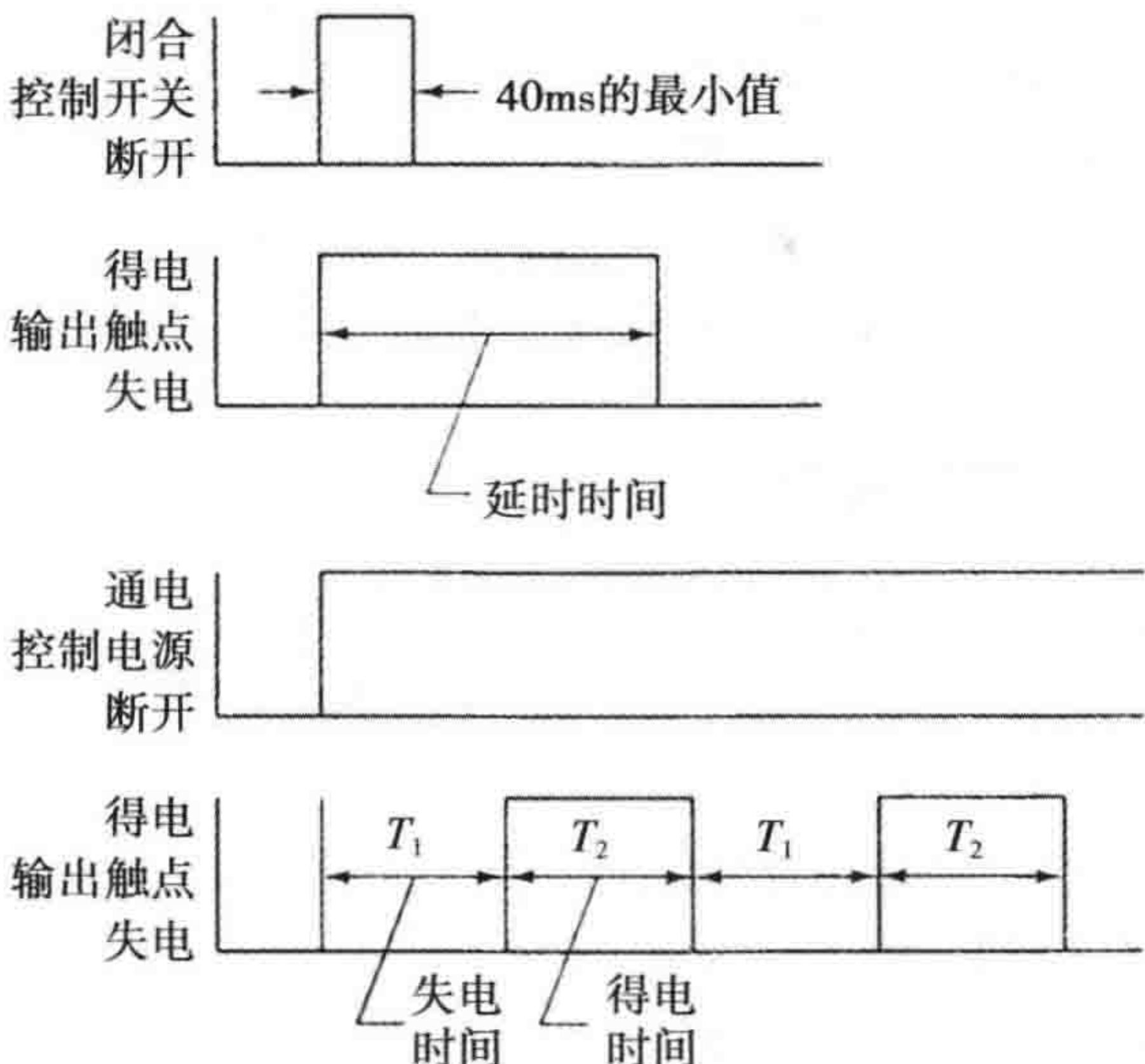


图 9-9 可编程定时器的定时模式（Square D 产品）

### 9.9 数字固态定时器 / 计数器

一些基于微处理器的数字定时器 / 计数器设计得十分灵活，可以现场编程设计，具有多种定时 / 计数模式与范围。这些基于微处理器的数字定时器可以是单阶段模式，也可以是双阶段模式；它们可以是继电器输出，也可以是固态输出；它们可以是直流输入也可以是交流输入，这样使它们能与大多数控制系统相兼容。

#### 9.9.1 单阶段型

单阶段型装置的正面有 1 个选择开关和 4 个指轮按钮（见图 9-10）。选择开关用于选择定时或计数的范围，而 4 个指轮按钮用于设置时间值或计数值。我们可以通过对 7 位内部 DIP 开关进行编程来完成操作模式的选择。该装置可以用数字读数的方式输出定时 / 计数的向上或向下的数字，或者用 LED 的状态进行显示。

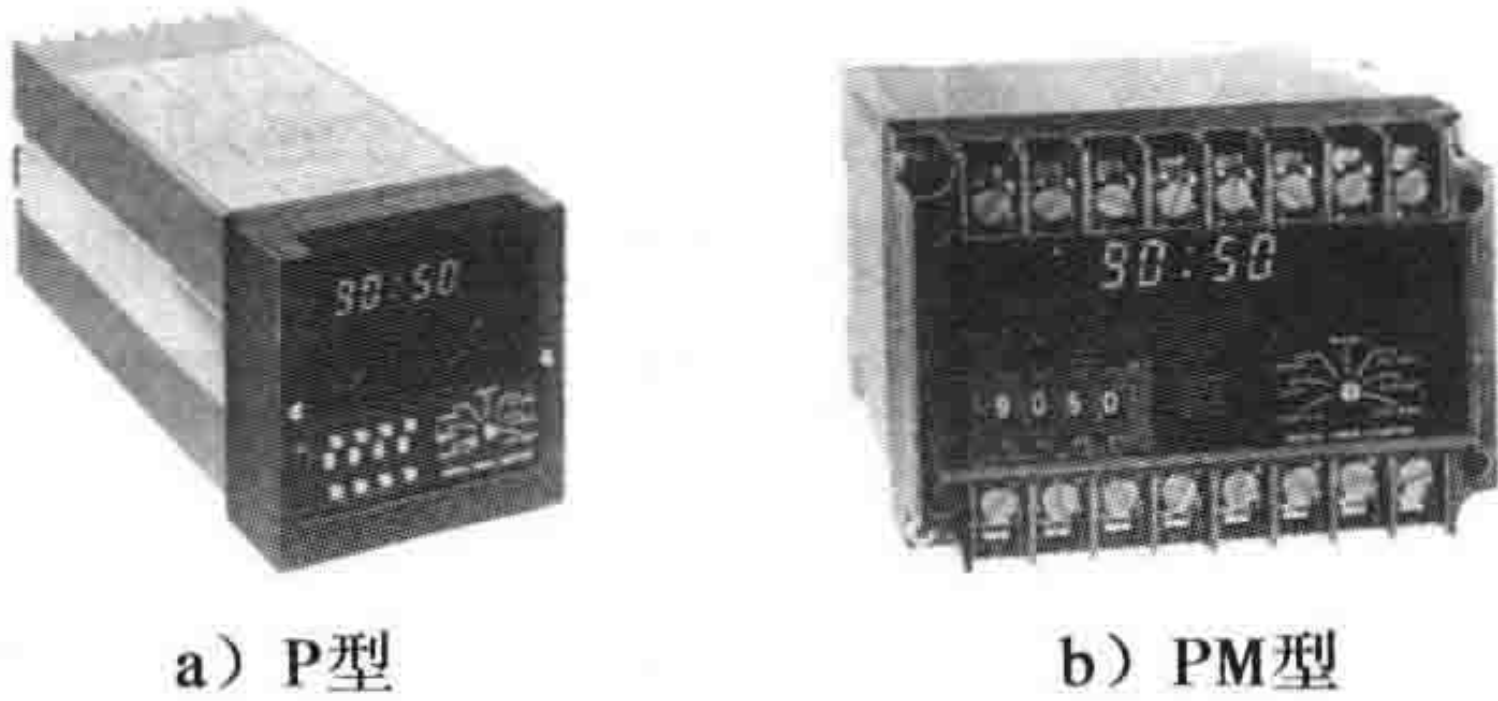


图 9-10 数字固态定时器 / 计数器单阶段型（Square D 产品）

#### 9.9.2 定时 / 计数模式

由于继电器开关会给所控的设备带来许多故障停机的时间，因此我们需要格外注意它们。在工业领域中，就像电话公司用晶体管开关代替继电器开关一样，继电器正迅速被电子元器件所取代。晶体管中没有可运动的部件，也没有需要定期清理的触点。若使用继电器，整个电路需要重新布线以改变程序，但是若使用数字固态定时器 / 计数器，只需要改变装置



正面的指轮按钮即可。

固态定时器 / 计数器的 4 种模式分别是：通电延时、断电延时、间隔模式与周期脉冲。

通电延时模式 闭合起动触点，延时周期开始，定时 / 计数输出得电。

断电延时模式 闭合起动触点，定时 / 计时输出得电。断开起动触点，延时周期开始。延时周期结束时，定时 / 计数输出失电。

间隔模式 闭合起动触点，定时 / 计数输出得电，延时周期开始。延时结束时，定时 / 计数输出失电。

周期脉冲 闭合起动触点，延时周期开始。延时结束时，定时 / 计数输出得电 50ms，然后失电。定时 / 计数装置重复这一过程，直至起动触点断开。

### 9.9.3 双阶段型

双阶段型装置的正面有 8 个指轮按钮（见图 9-11）。左面的 4 个指轮按钮用于设置第一阶段的定时值 / 计数值，而右面的 4 个用于设置第二阶段的定时值 / 计数值。装置内部的 7 位 DIP 开关用来设置定时 / 计数的范围与模式。双阶段型装置带有两个 LED 状态指示灯，一个用于第一阶段的指示，另一个用于第二阶段的指示。

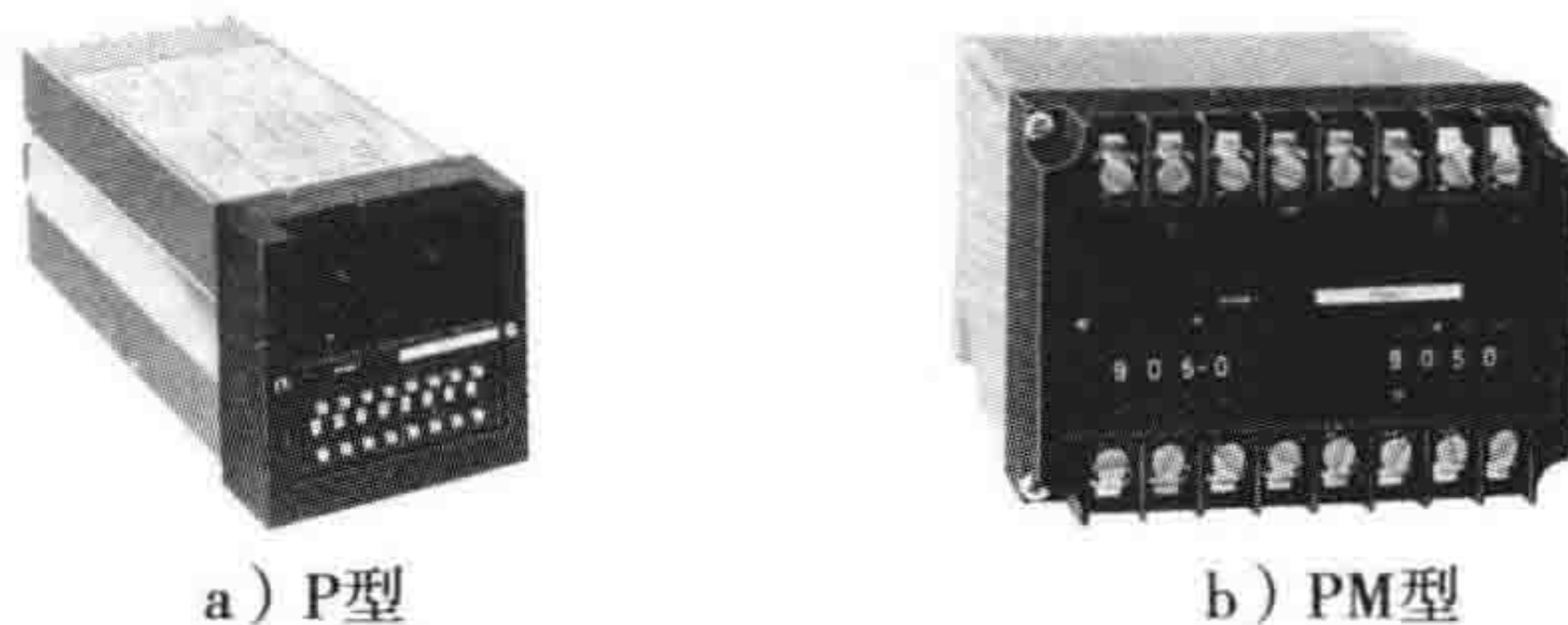


图 9-11 数字固态定时器 / 计数器双阶段型 (Square D 产品)

双阶段型（通电延时）模式 闭合起动触点，第一阶段的延时周期开始。延时结束时，第一阶段的定时 / 计数输出得电，第二阶段的延时周期开始。延时结束时，第二阶段的定时 / 计数输出得电。

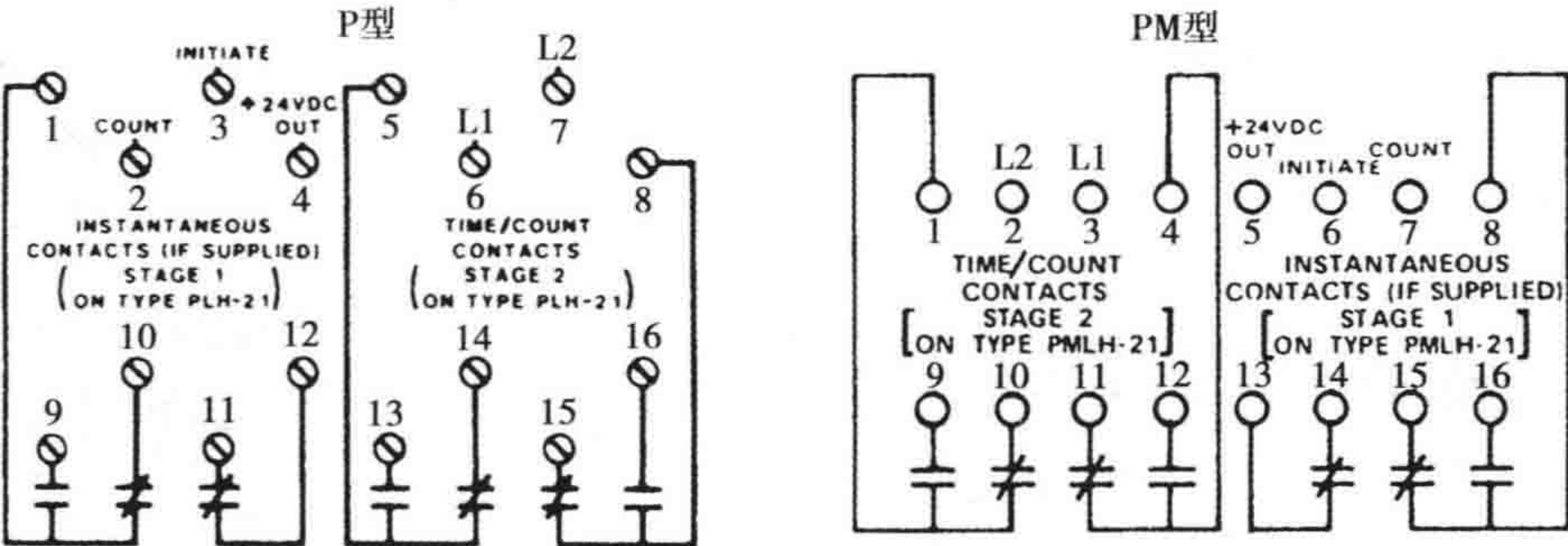
双阶段（通电延时） 闭合起动触点，第一阶段的断电延时周期开始。第一阶段的断电延时周期结束时，第二阶段的定时 / 计数输出得电，第二阶段的通电延时周期开始。第二阶段的通电延时周期结束时，第二阶段的定时 / 计数输出失电，第一阶段的断电延时开始。一直重复这一过程，直至起动触点断开。当起动触点闭合时，第一阶段的定时 / 计数输出作为瞬时输出得电。

双阶段（断电延时） 闭合起动触点，第一阶段与第二阶段的定时 / 计数输出得电。当起动触点断开时，第一阶段的延时周期开始。第一阶段的延时周期结束时，第一阶段的定时 / 计时输出失电，第二阶段的延时周期开始。第二阶段的延时周期结束时，第二阶段的定时 / 计数输出失电。

重复循环（断电延时） 闭合起动触点，第一阶段与第二阶段的定时 / 计数输出得电。当起动触点断开时，第一阶段的定时 / 计数输出失电，第一阶段的通电延时周期开始。第一阶段的通电延时周期结束时。第二阶段的定时 / 计数输出失电，第二阶段的断电延时周期开始。第二阶段的断电延时周期结束时，第二阶段的定时 / 计数输出得电，第一阶段的通电延时周期开始。此过程不断重复，直至起动触点闭合。当起动触点闭合时，第一阶段的输出作为瞬时输出得电。这类定时器 / 计数器的工作电压为 120V (102~132V)、频率为 50/60 Hz，或 240V (204~264V)、50/60Hz。这类定时器 / 计数器的接线图如图 9-12 所示。



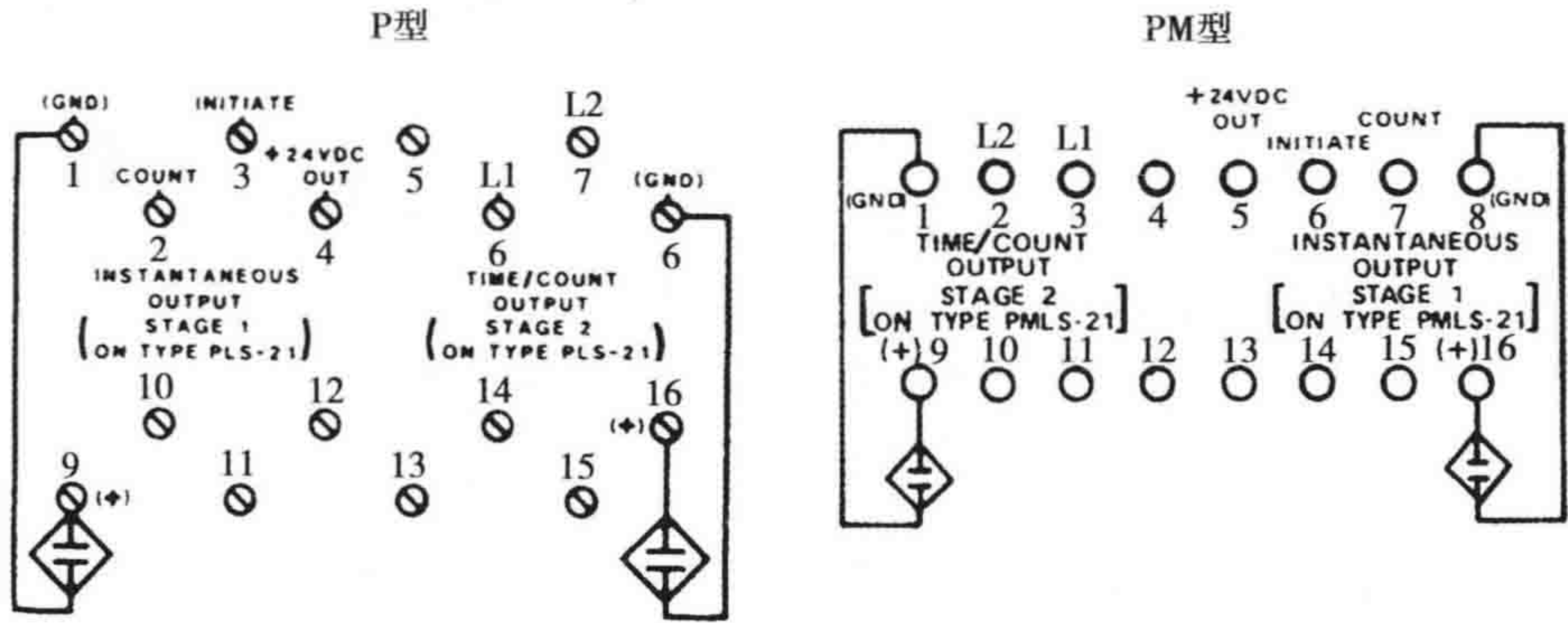
替换固态继电器输出：  
接线与触点布置



交流电触点参数						
	感性负载，功率因数为0.35				阻性负载， 功率因数为0.75	
	闭合		断开		连续电流 (A)	闭合，断开与 连续电流 (A)
	电流 (A)	容量 (VA)	电流 (A)	容量 (VA)		
电压 (V)						
120	30	3600	3.0	360	7	7
240	15	3600	1.5	360	7	7
直流电触点额定值：最大值7A、直流28V阻性或感性负载						

输出继电器的操作时间：  
吸合25ms  
释放25ms

固态输出：  
线路与触点布置



固态触点参数：  
50mA、直流30V

图 9-12 定时器 / 计数器中的触点 (Square D 产品)

9.9.4 指轮开关

指轮开关可以用在许多电子设备上进行定时或计数，可以多个组合一起使用。通过螺帽旋具可以紧固长螺钉末端的若干螺母，该螺钉插入开关内部，把外壳与内部的所有分离元器件连在一起（见图 9-13）。由图 9-13 可以看出：按钮前部安装的开关有一个用于设置各位数字的按钮，而其他开关为指轮，可以旋转它们直至得到正确的数字。装配一个完整的开关所需要的配件包括：



- 一对端板
- 一个用于存放开关的空机壳
- 分隔开关和框架的隔板
- 五金器具

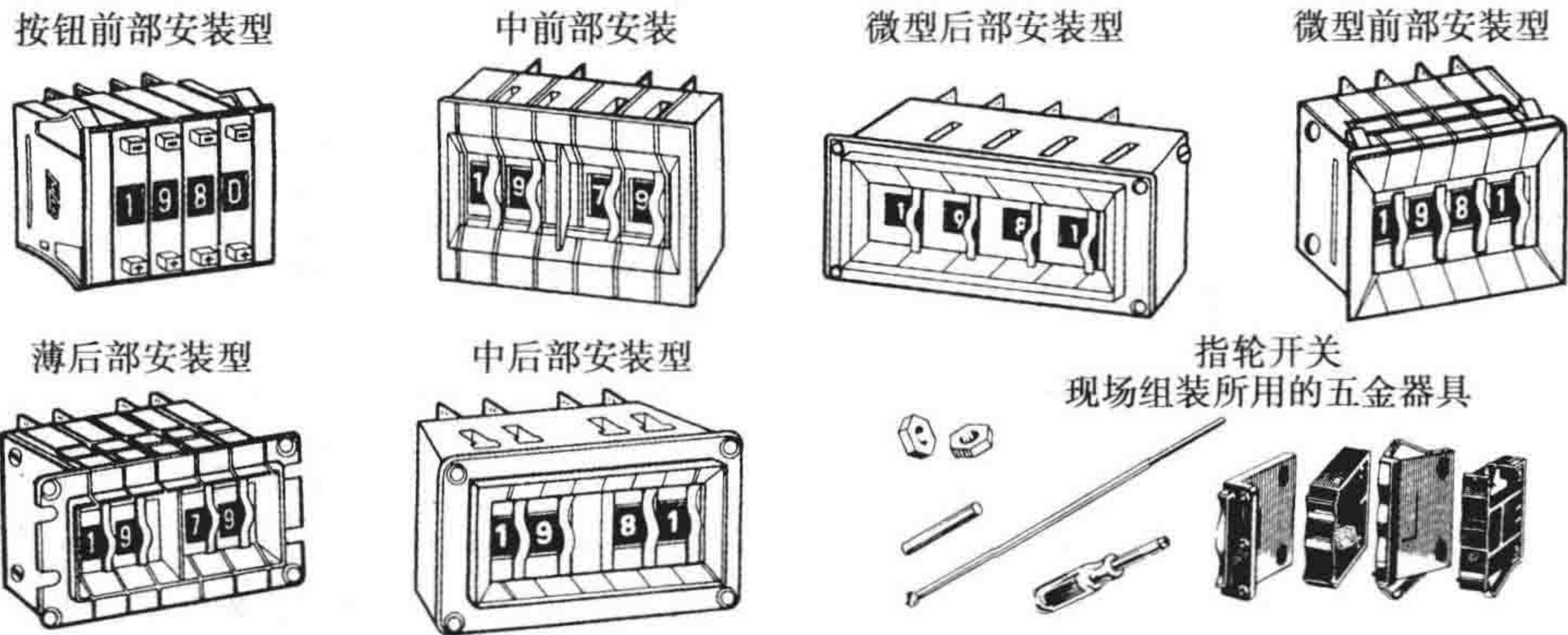


图 9-13 指轮开关

9.10 DIP 开关

双列直插式封装 (DIP) 常用于集成电路或芯片以及它们的封装中。DIP 开关较小，具有像集成电路 (IC) 或芯片一样的引脚。它们用于印制电路板上，并焊接在所需位置。如图 9-14 所示，它们很小，用一个圆珠笔或同样大小的东西拨动开关，使其在闭合与断开之间变化。它们也可用作凸起式摇杆开关、嵌入式摇杆开关以及琴键型 DIP 开关。通过高压弹簧 - 球触点机构可以使上述开关的触点闭合与断开。小球使得两个触点间的电路闭合，具体参见剖面图所示。

这种高压弹簧 - 球触点机构也用于单刀单掷 (SPST) 滑动驱动开关的闭合与断开，这个开关很小，需要用很小的螺丝刀尖端或圆珠笔拨动开关，使其触点闭合或断开。它们也安装在印制电路板上，用于给电路或者芯片编程，使它们与 9.9 节中所阐述的定时器 / 计数器完成同样的功能。

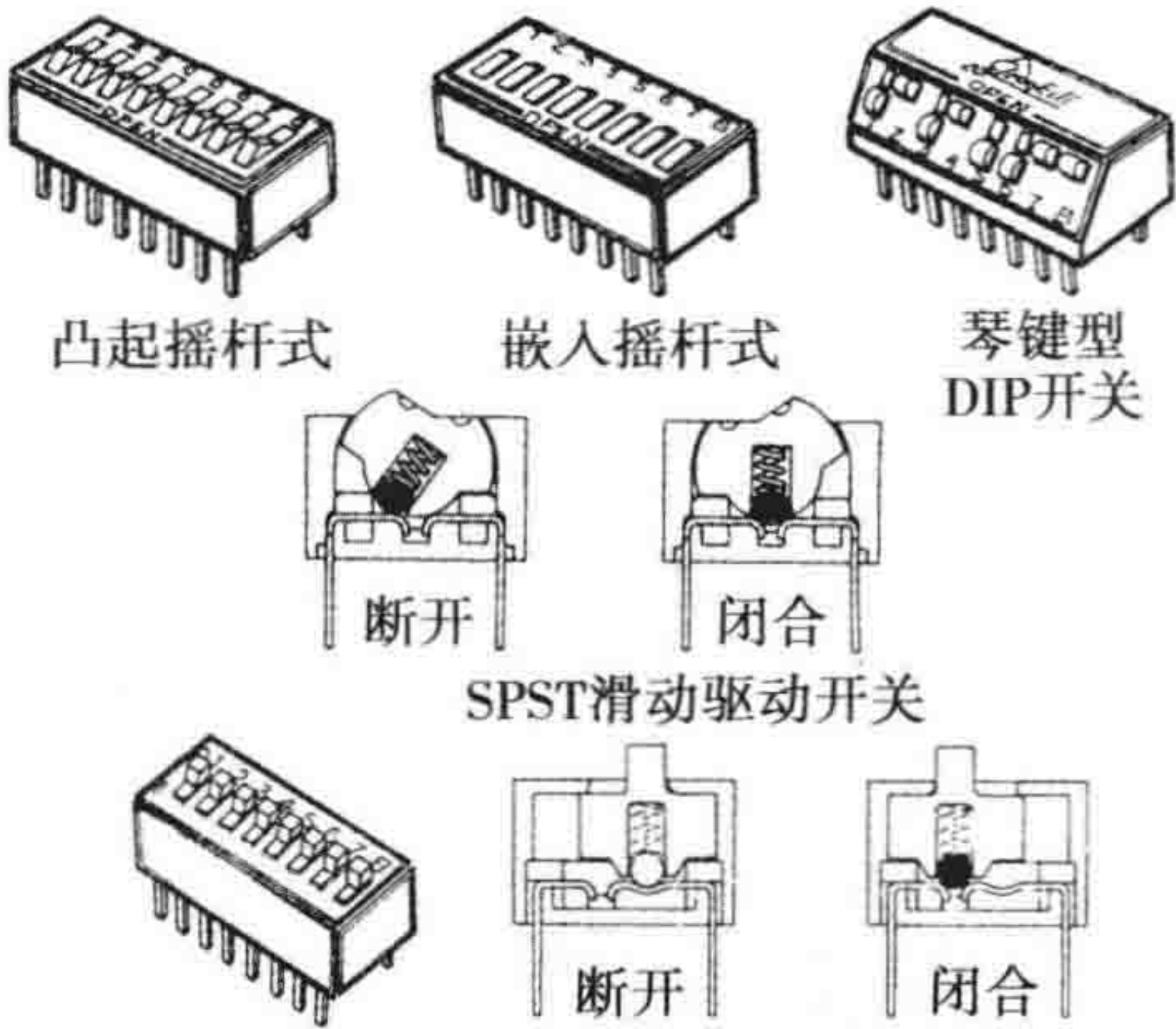


图 9-14 DIP 开关

9.11 气动式定时继电器

气动式定时继电器与其他种类的定时继电器相比，具有一些优势：它不受环境温度与气压变化的影响，可调的定时范围较宽，具有很好的重复精度。该类继电器有多种触点与定时方案 (见图 9-15)。

气动式定时继电器由机械的磁体来控制。定时功能取决于一个限流孔对空气的传输，通过使用加强型人造橡胶波纹管或隔膜可以达到限流的目的。放置一个针阀以改变限流孔或通风孔的限制量，可以校准定时范围。

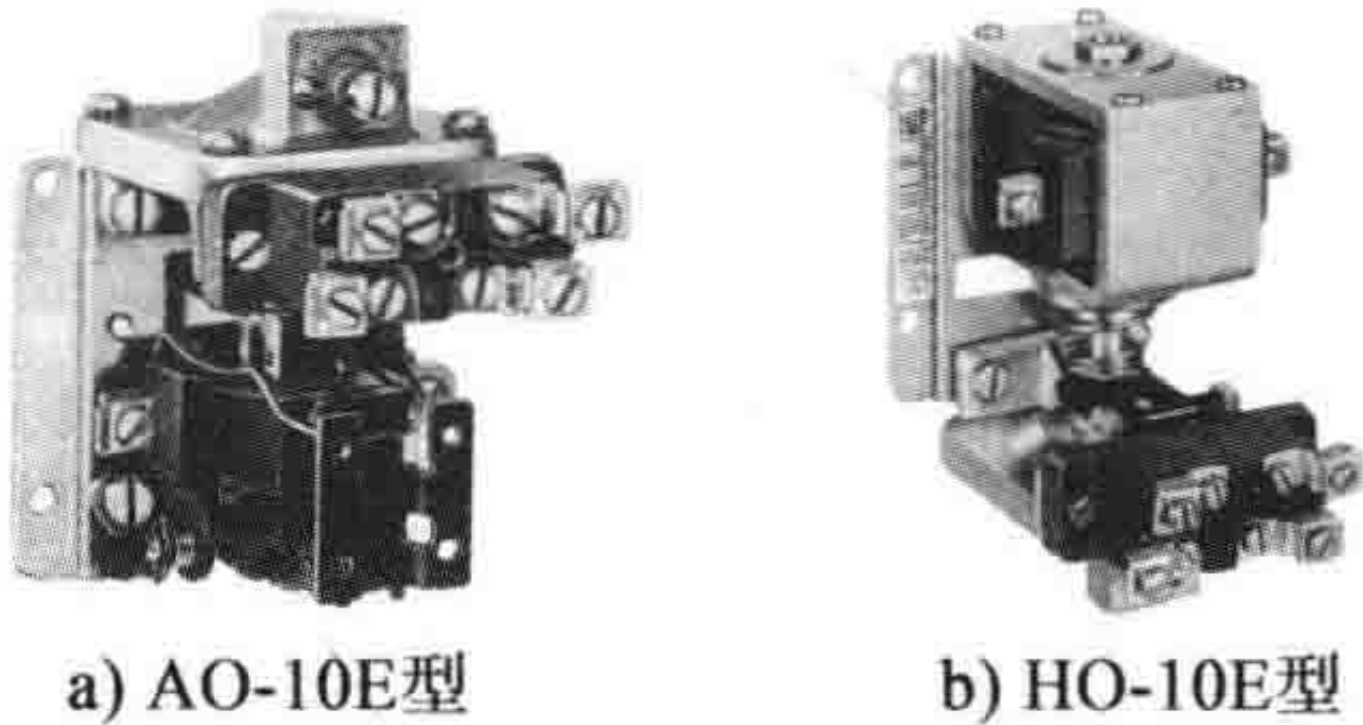


图 9-15 气动式定时继电器 (Square D 产品)



可通过诸如按钮、限位开关以及温控继电器这样的设备来控制启动定时继电器的通电或断电过程。这类设备所需的电流很小，所以可以使用高度灵敏的装置来控制操作顺序。

这类定时继电器可以用于电动机加速以及自动控制电路中。所谓的自动控制是指装置需要重复使用，而精度要求较高的地方。

气动式定时继电器可提供两类延时：通电延时，这是指当继电器通电时，产生延时；断电延时，指继电器断电时，产生延时。图 9-16 所示为 Allen-Bradley 的继电器中通电延时的方案。当动作线圈 (O) 得电时，螺线管动作吸合螺线管活塞 (A)，推杆 (B) 上的压力释放。波纹管 (E) 内部有一个弹簧 (W)，弹簧推动推杆 (B) 向上移动。当推杆 (B) 向上移动时，会使不平衡连杆机构 (C) 将快动机械装置 (X) 向上移动，这个动作进而会抬高 (D)，从而控制开关或时间控制触点。

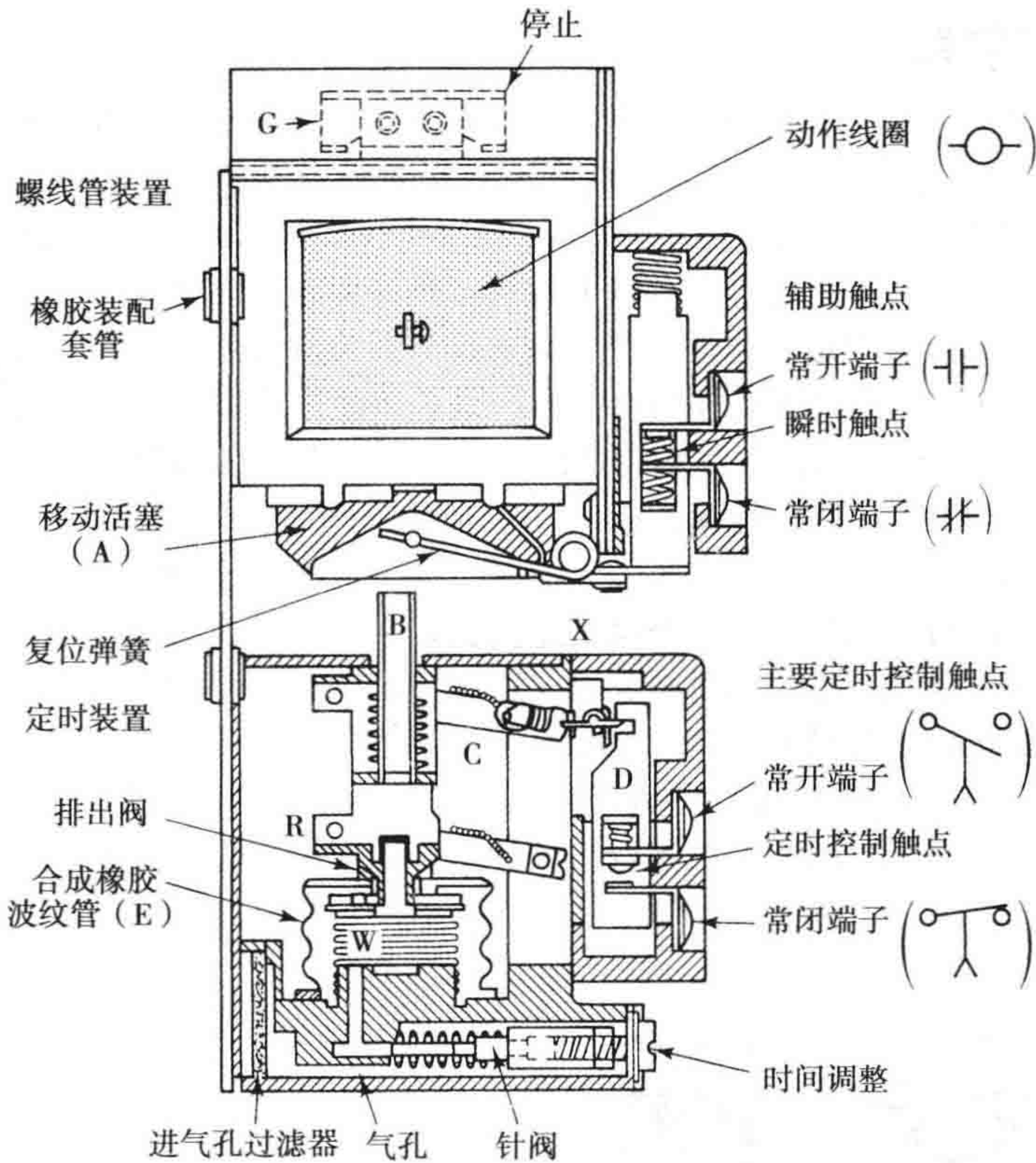


图 9-16 带有通电线圈与定时器延时的交流通电延时定时器 (Allen-Bradley 产品)

波纹管上升的速度取决于底部针阀的位置。针阀的设置决定了螺线管合闸与波纹管抬升从而操控开关的时间间隔。如果针阀已经闭合，那么需要相当长的一段时间让空气经过针阀，然后抬升波纹管。当线圈失电时，重力使得活塞掉落。复位弹簧与掉落的活塞动作几乎会瞬时重置定时器。

Allen-Bradley 继电器中的断电延时模式如图 9-16 所示，螺线管旋转了 180°。当动作线圈 (O) 得电时，活塞 (A) 被夹住，(G) 推挤 (B)，使波纹管 (E) 被完全压缩。线圈失电会使复位弹簧推动 (A) 向上运动，这也会使 (G) 向上移动，由此使 (B) 受到向下的力。当 (B) 上的压力撤去以后，波纹管 (E) 缓慢地伸展开，这会推动 (B) 向上移动，当 (B) 向上移动时，释放压力，这与通电延时的过程是一样的。(B) 的压力释放会使开关跳闸。图 9-17 所示为定时触点标准原理图中使用的符号。



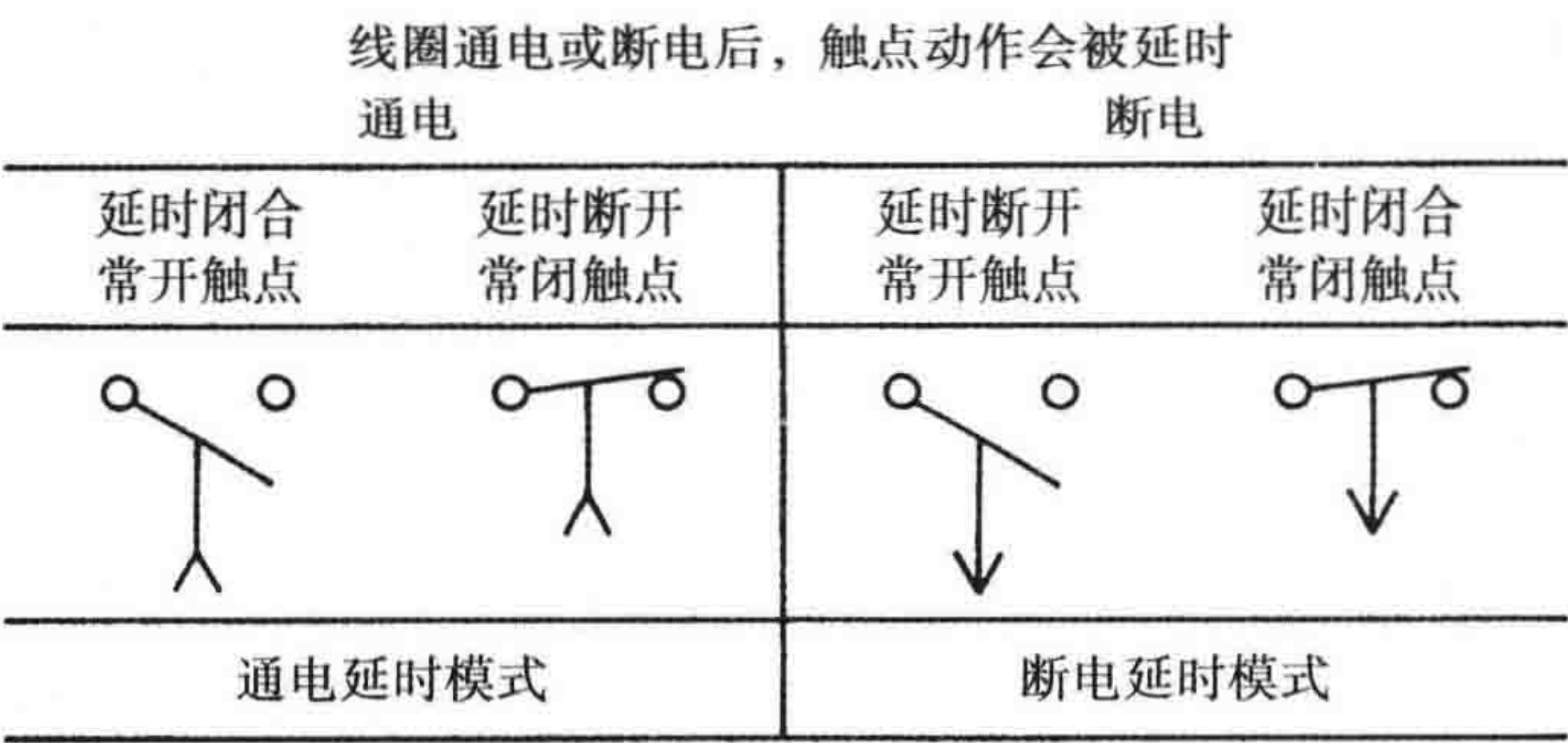


图 9-17 定时触点的符号。线圈通电或断电后，触点的动作会被延时

9.12 电动定时器

电动定时器具有多种类型以满足不同用途的需求。图 9-18 所示为用于工业与商业中的一类电动定时器。该定时器根据永久触点开关或瞬时触点开关进行动作。在后一种情况中，电磁铁操纵的开关可以在一段时间内为负载供电。继电器作为间隔定时器使用，具有以下特点：允许编程定时驱动凸轮开关，降低开关驱动器的超程运行，极大地延长了开关寿命。差动离合器使用硬齿面齿轮，这提高了动作的可靠性，延长了使用寿命。该电动定时器需 120V 电压，电动机功率约为 2.5W，复位时间在 0.5s 以内。开关的额定值：交流电压 125V，电流 10A，或电压为 125V 时的功率值。

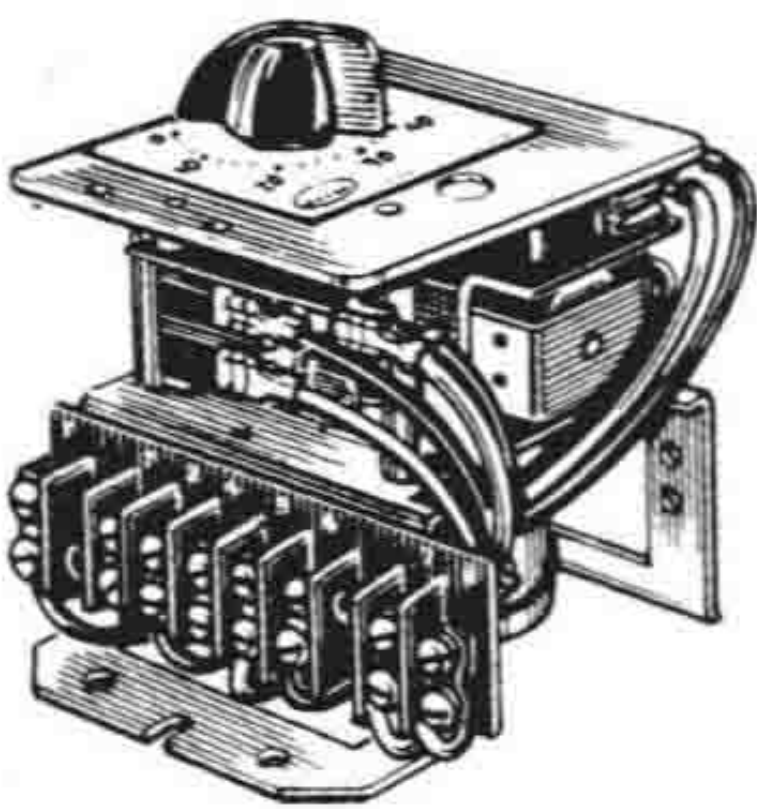


图 9-18 复位定时器

许多定时器都很方便从通电延时转变到断电延时的状态。图 9-19a 显示了承担不同工作时所用到的一些类型的定时器，大多数是由同步电动机驱动的。这些电动机是磁滞式同步电动机，它们都可自启动。由于它们依靠频率同步，而不是依靠电压实现的转速恒定，因此运行十分精确。图 9-19b 所示为一组凸轮开关，通过编程可设定闭合 - 断开周期。由若干个这种开关组成的联动开关可实现对若干动作的控制。图 9-20 所示的原理图说明了如何搭建一个标准的起停控制台，该控制台的通电延时定时器带有一组动合触点。

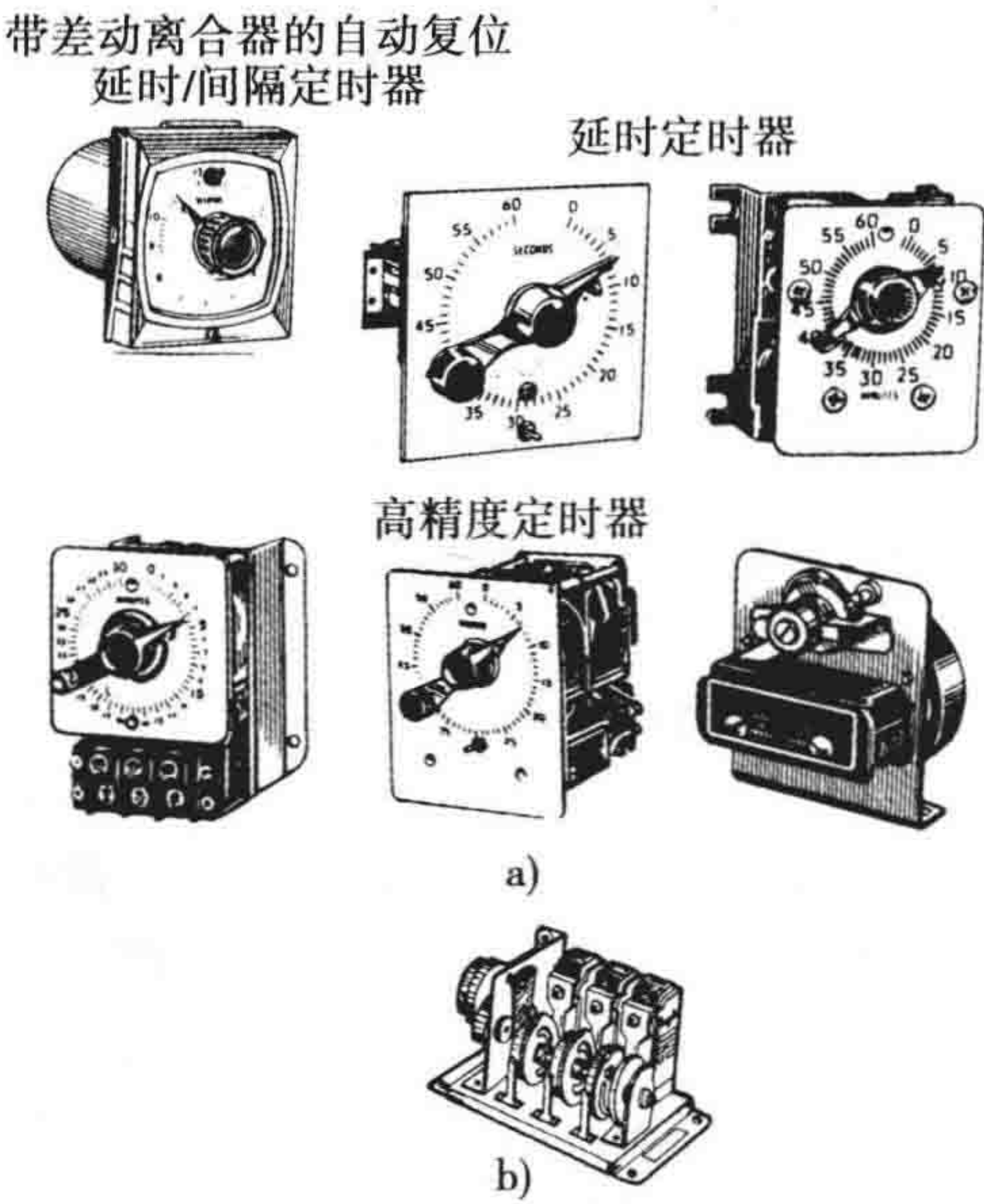


图 9-19 工业定时器

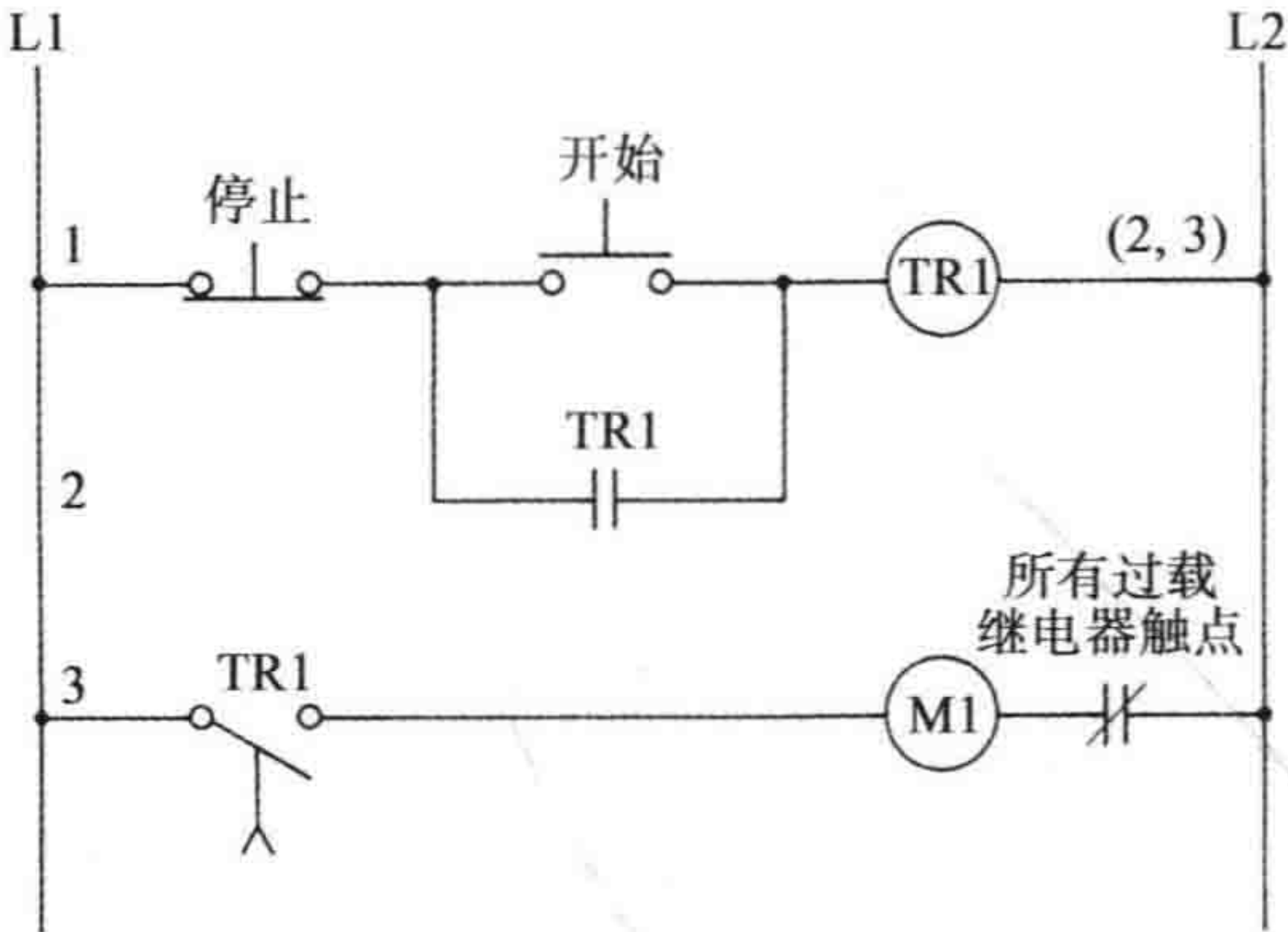


图 9-20 延时电路



9.13 顺序控制

图 9-21 所示的电路为两台电动机的顺序控制，一台电动机停止运行后，另一台电动机起动，并运行一小段时间。在这个系统中，期望第一台电动机停止运行后，第二台电动机自动起动，并且第二台电动机只在设定的时间段内运行。在一些需要第二台电动机驱动风扇或水泵用于降温的地方，可能会有这样的应用。

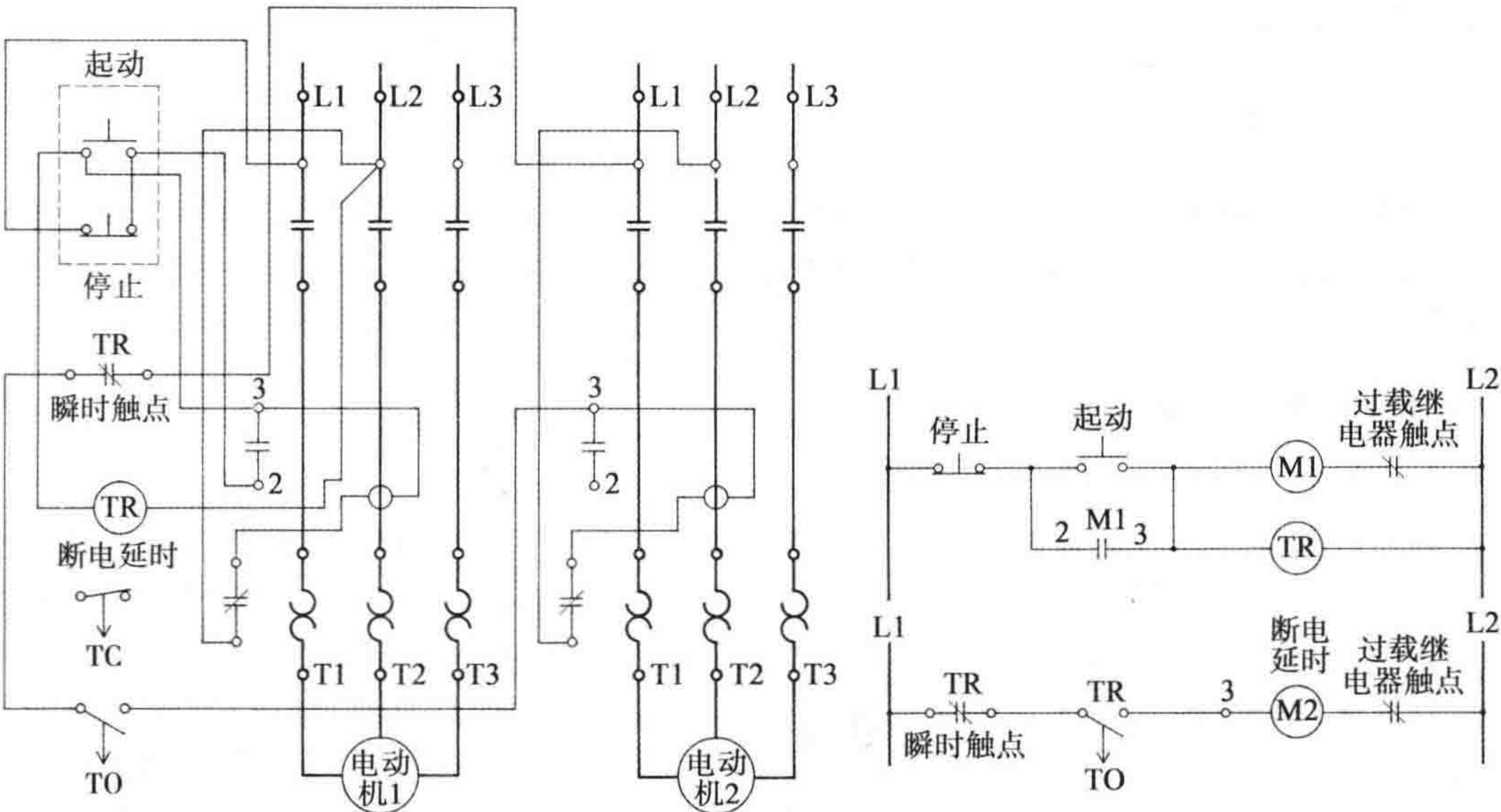


图 9-21 顺序控制 (Allen-Bradley 产品)

为了完成顺序控制，用到了断电延时定时器 (TR)。当按下起动按钮时，M1 与 TR 都得电。TR 的延时常开触点 (TO) 闭合，但是由于瞬时常闭触点断开，所以 M2 的电路保持断开。一旦按下停止按钮，M1 失电，M1 电动机停止运行，TR 同时失电，TR 瞬时触点闭合，M2 电动机将持续运行，直到 TR 断开，延时触点断开。

9.14 可编程定时器

随着微处理器与数字化设备的发展，出现了许多种类的可编程定时器。一个很好的应用就是“看门狗定时指挥系统”(见图 9-22)，该类定时器具有以下特点：定时精确，墙上安装，一年 365 天的定时范围，可编程控制，动作时间精确到秒等功能。该定时器包括 1 个时钟和 1 个可容纳 4 个电路的外壳。另一种型号可容纳 16 个电路。这两种型号都可加入继电器模块，每个继电器模块可控制 4 个电路。

图 9-22 所示的定时器可接受 60 个操作程序，每个操作程序都可控制任意一个电路或所有的电路。它可以对多达 20 个假期进行编程控制，而每个假期的休假天数可以是单独的一天，也可以是无限制的。当电源发生故障时，备用电池会保留程序，最长可达 3 年。闰年时定时器会自动调整，夏令时的开始与结束也可通过编程来设定，与日出日落有关的指令同样也可通过编程来



图 9-22 看门狗定时指挥系统可编程定时器 (Square D 产品)



完成。

可编程定时器的功能较多，其中一些用途涉及：能源管理、保安措施以及大范围的工业与商业应用。为了最好地利用能源，需要在适当时候打开与关闭电灯、热水器、电扇、电炉与水泵等。门锁、报警器以及电梯在闲时也需要轮转，以确保安全。工业与商业上的应用包括：洒水与灌溉系统、交通管理、学校、测试寿命使用的工业信号铃。秒级的分辨率可提供精确且准确的定时控制。编程说明书与装置一同提供，详细的说明书确保你能够根据预期目的完成程序的编写。

9.15 传感器

传感器在工业上有许多用途。它们可以检测出材料或成分的有无，可以在一个或若干个条件不满足时发出警告。传感器可以检测温度、压力，一些情况下还会检测容器或贮藏设备中的物料等级。

9.15.1 固态液位传感器

如图 9-23 所示，液位控制是利用传感器主体中伸出的两个探针，对原料是否存在进行检测，以此检测原料的液位高度。当这两个探针之间有待测原料时，晶体管电路的特性会发生改变，使继电器得电。一些测量可以使用电子学方法来完成，如可以利用霍尔效应(将在后面章节中阐述)，可以利用涡流的方法，还可以通过绝缘体的改变，两个探针之间的电容也随之发生变化这一现象来完成检测。图 9-23 所示的传感器可以在 0.5s 内对液面变化做出响应，它可用于探测贮存容器、混合槽或管道中液面的上升或下降；可用于探测任何可用不锈钢外壳盛装的液体；并且非常适合于有物质堆积、泡沫、气泡以及悬浮体情况的探测。它不受搅拌、波浪作用或湍流的影响，可直接安装，无须计量器或旁路。液位传感器的工作电压为交流 24~250V 之间、频率为 50/60Hz，与它所控制的继电器、螺线管、阀门以及信号器串联。注意：在没有外部负载串联的情况下，决不能向传感器供电。图 9-24 所示为传感器输入电源的连接方式，以及端子 7 到端子 12 的触点布置方式。即使切断负载，传感器与负载间还是会流过低于 5mA 的小电流，以维持对传感电子元器件的供电。

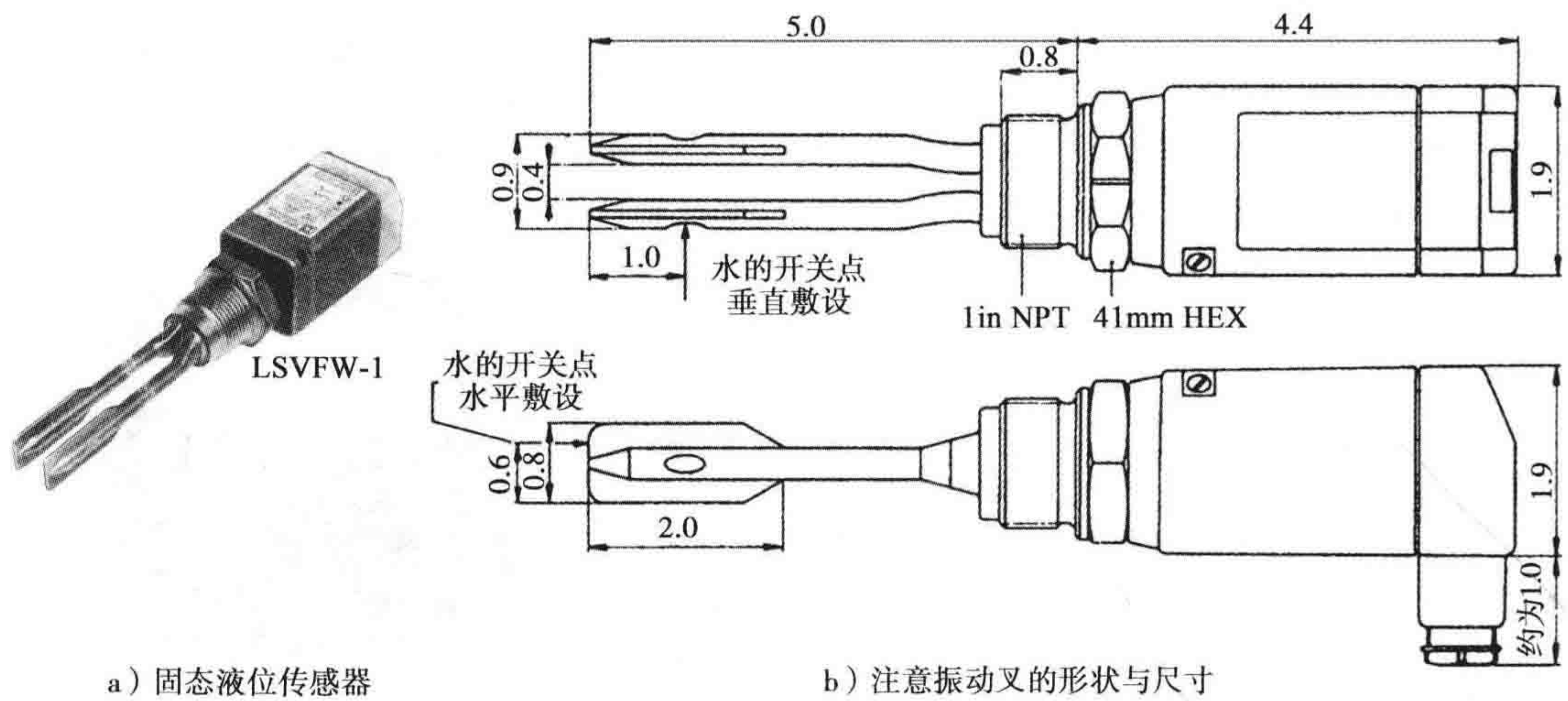


图 9-23 固态液位传感器的形状及尺寸 (Square D 产品)



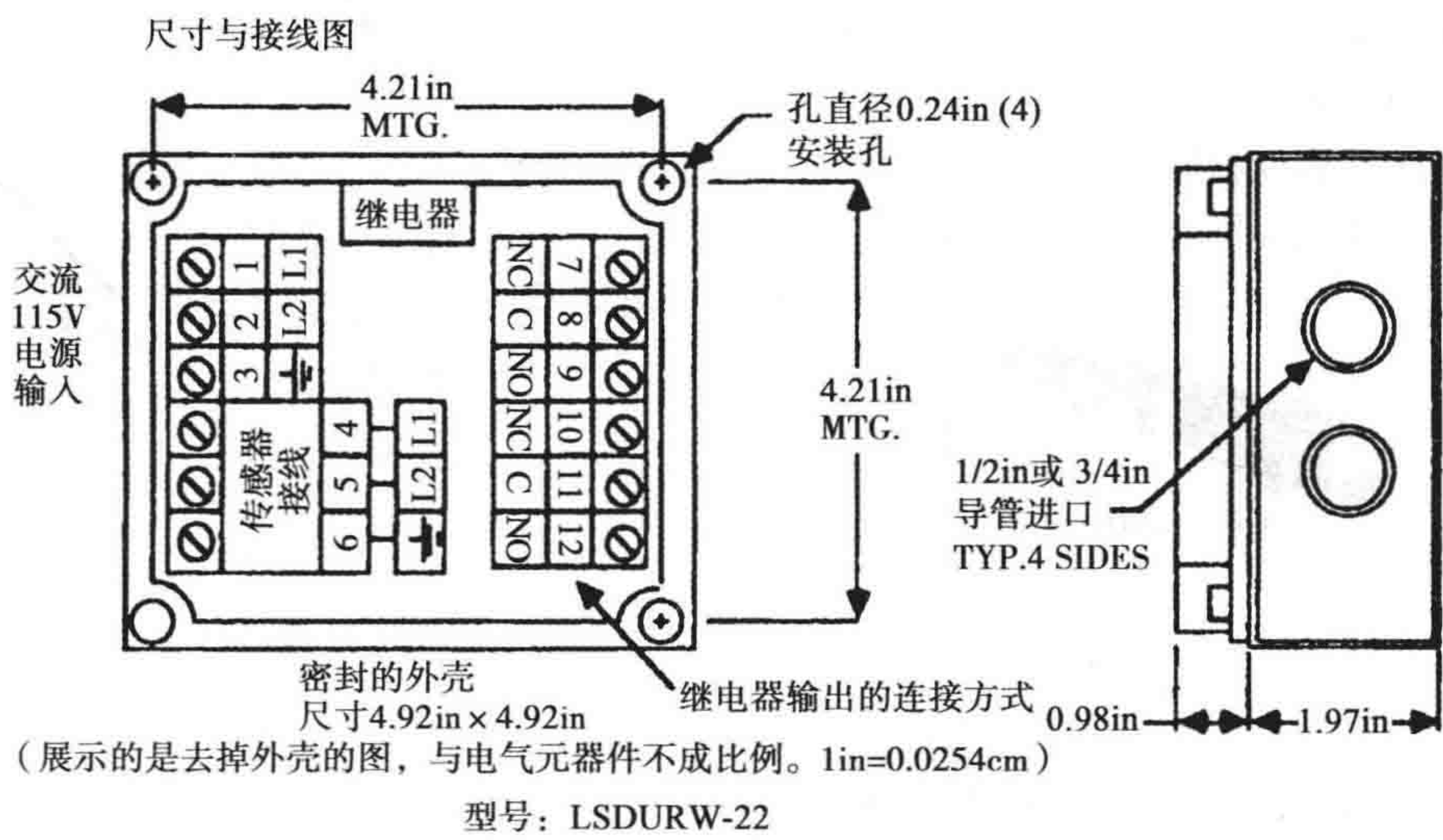


图 9-24 液位传感器操控的继电器（Square D 产品）

9.15.2 电容传感器

电容型液位传感器适合应用于需要对粉末状、颗粒状或丸状的固体进行控制与测量的场合。它的传感头极其灵敏，能够检测出介电常数低至 1.5 的物质。

电介质是将电容的两个板分隔开的物质（空气与真空或其他物质）。不同的物质对于电容器容量的影响也不同。真空所对应的常数为 1，各种物质与真空条件相比较，得出了所对应的常数。表 9-2 表示各种物质所对应的介电常数。

表 9-2 介电常数

空气	1.000 06	橄榄油	3.11
液态氨	15.5	纸	2~6
沥青	2.68	石蜡	2.0~2.5
蜂蜡	2.75~3.0	聚乙烯	2.3
电子陶瓷	80~1200	瓷	6~8
耐热玻璃	3.8~6.0	橡胶	2.8
康宁玻璃	9.5	硫黄	4.0
云母	7~9	真空	1.0
尼龙	3.5	水	80
油	2~5		

电容型液位控制传感器如图 9-25 所示，它可安装在许多场合中。该装置可现场选择自动防故障模式，这对用户很有好处，这是因为它可以处于常开（没有物质）模式，也可以处于常闭（有物质）模式。图 9-24 所示的连接在这里也适用，传感器的接线紧邻 115V 交流电源输入，内部继电器的输出端子是 7~12。

9.15.3 温度传感器

温度传感器能够感测到实际温度或者检测出温度差，由此可以控制诸如溶液池、轴承、内燃机内部或大型空气压缩机等设备的温度。图 9-26 给出了一些用于工业和一般场合中对温度保持设备进行自动控制的温度开关。可通过如下几个方法来实现温度测量，它们包括：



- 热电偶
- 热敏电阻
- 电阻式温度检测器
- 半导体式温度传感器

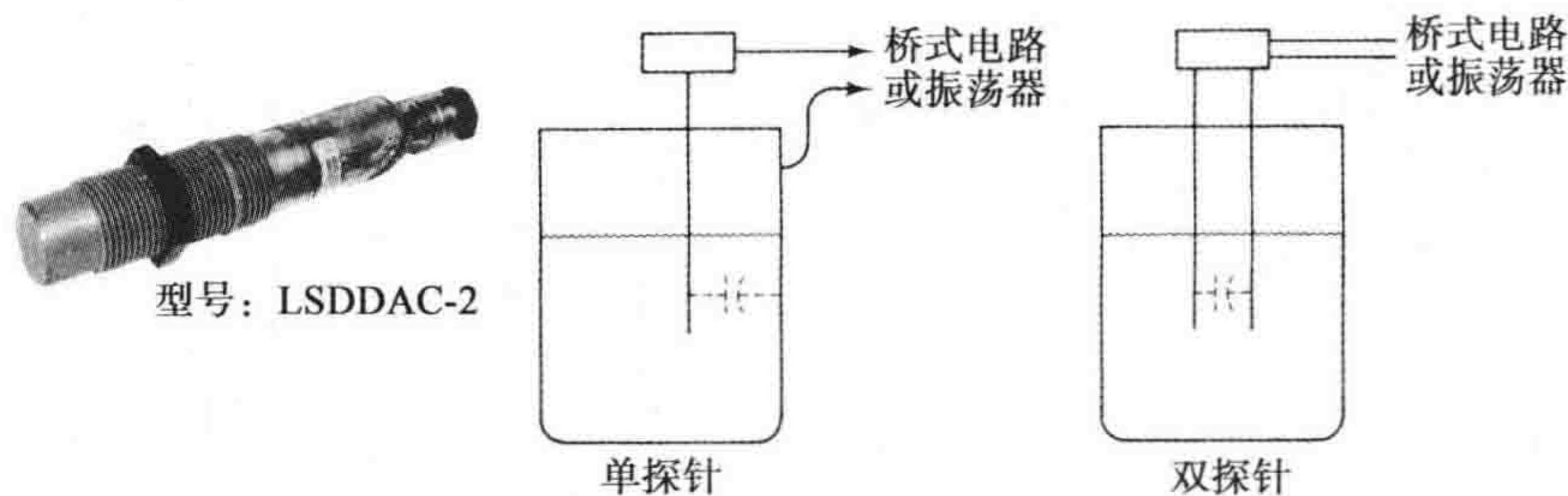


图 9-25 电容型液位传感器 (Square D 产品)

(电容型液位传感器用于交流桥式电路或当液体改变探针间或探针与容器壁间的电解质时，改变振荡器的频率)

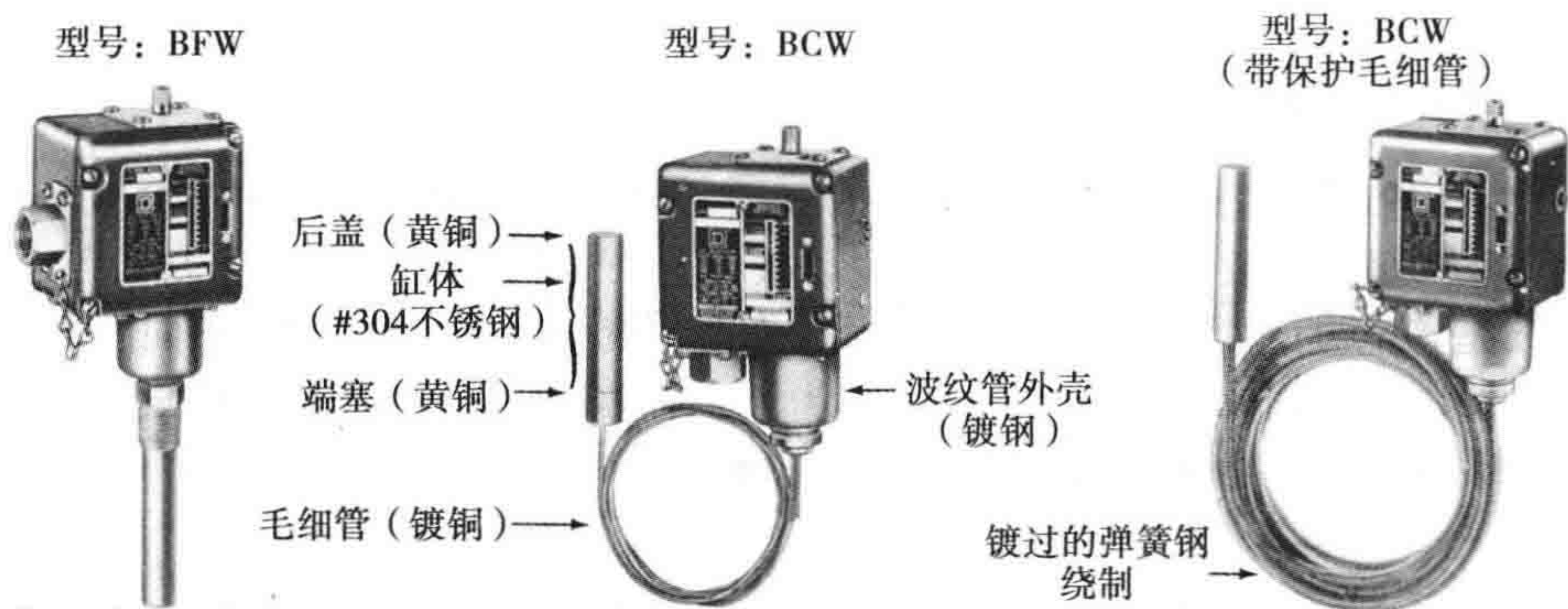


图 9-26 温度传感器 (Square D 产品)

9.15.4 热电偶

热电偶是应用最为广泛的温度检测装置。热电偶的历史可以追溯到1821年，托马斯·赛贝克发现，将由不同材质制成的两根导线接在一起后，当对一端加热时会产生电动势。热量与输出的电动势或电压成正比。热电偶结构简单、成本低廉，而且能够测量高至4500°F范围内的温度。然而，热电偶不稳定，需要一个参考结点来确保输出结果的有效。图9-27所示为热电偶的工作原理。工业上，热电偶应用于检测烤箱和熔炉的温度、流体的温度以及核反应堆的核心温度。

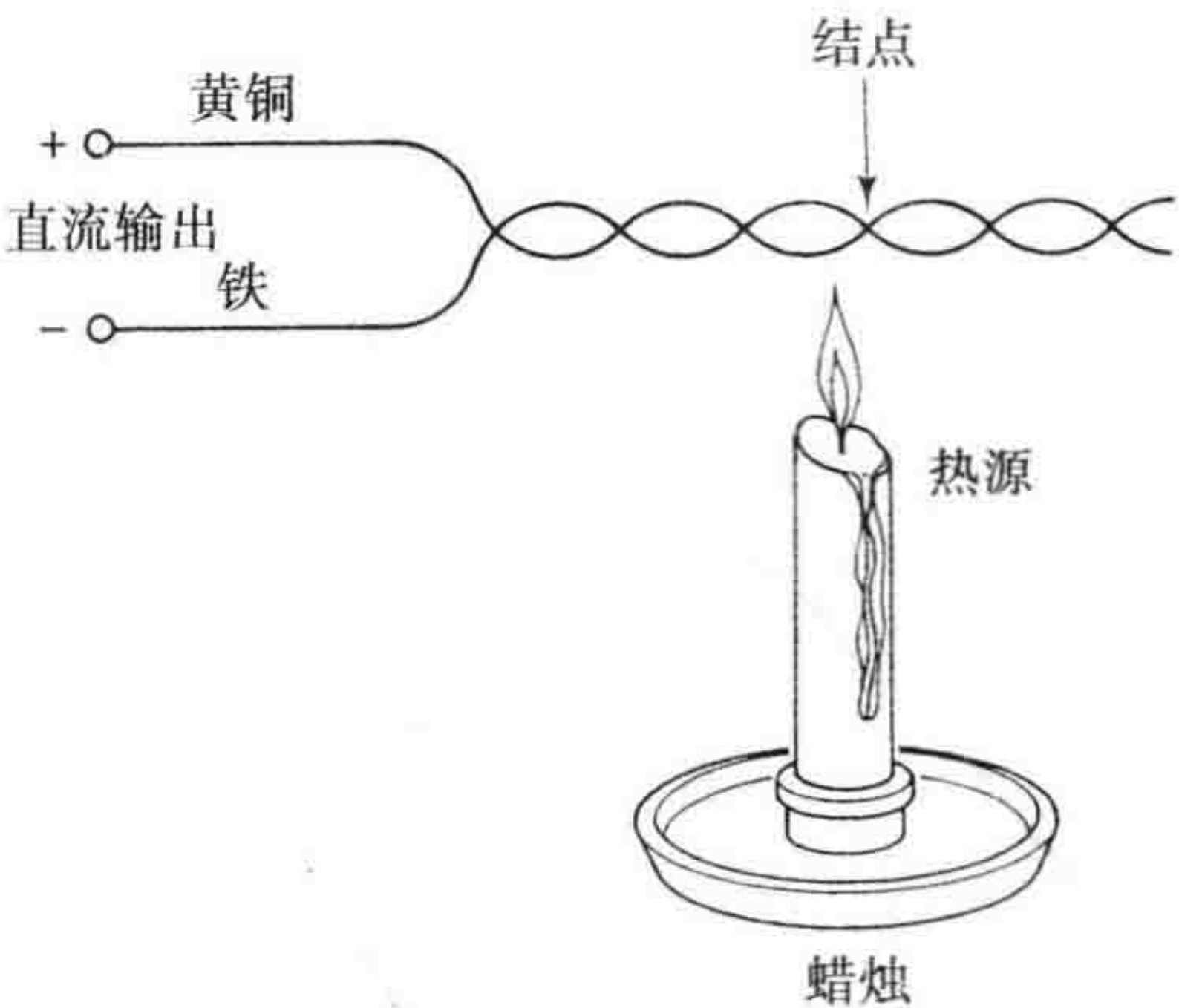


图 9-27 热电偶产生赛贝克效应

9.15.5 热敏电阻

热敏电阻是加热时电阻阻值会降低的一类器件，当温度上升时，电阻阻值会降低。热敏电阻尺寸众多、形状各异（见图9-28）。它是对温度最为敏感的器件，阻值从0.5Ω~80MΩ不等。然而，热敏电阻也有它的缺点，包括非线性响应以及有限



的测量范围。热敏电阻可检测化工过程中 1℃ 的温度变化情况，也可作为液体流量或流体流量的控制器来使用。热敏电阻可以通过物质中温度的变化检测出液体是否存在。一旦热敏电阻浸到液体当中，即可确定该液体的温度，并给特定的电路通电，以校正液面高度。

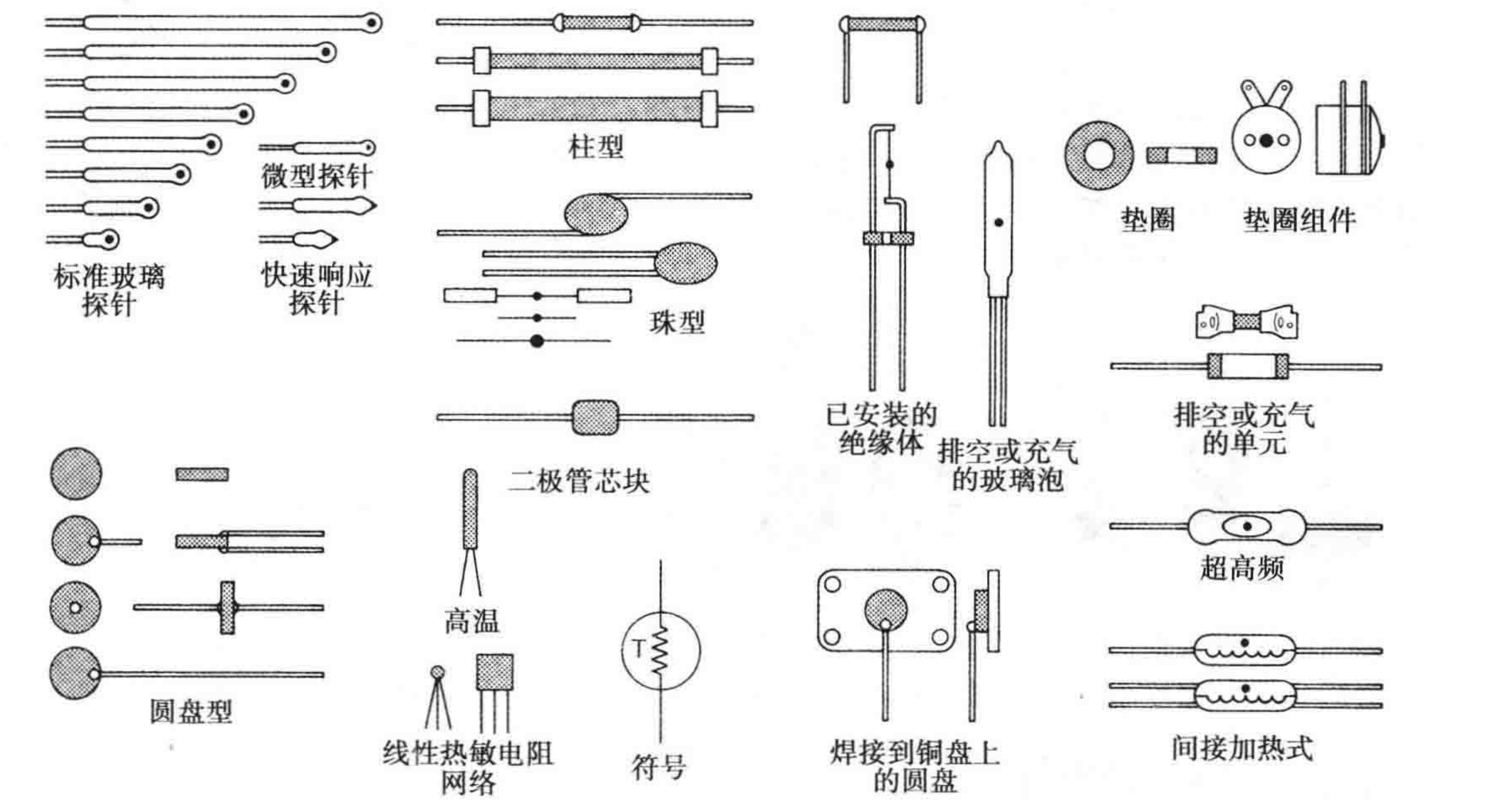


图 9-28 热敏电阻

9.15.6 电阻测温器

通常金、银、铁或者这一类的纯元素在加热时其电阻值会增加，而热敏电阻在加热时与大多数金属或物质电阻值改变的趋势是相反的。使用这一独有的特征也可以设计温控装置。

一些非常知名的装置包括桥式电路（如图 9-29 所示）、金属薄膜电阻温度检测器以及螺旋型电阻测温装置。金属薄膜检测器是这样制作的：将金属铂的薄膜放置在平整的陶瓷基片上，用激光进行蚀刻，然后对薄膜进行修整，密封起来。这样就制成了一个对温度极其敏感的装置，可用于检测温度的变化。该装置的缺点是：它需要一个放大器，因为温度的变化很小，而且它的响应时间较慢。

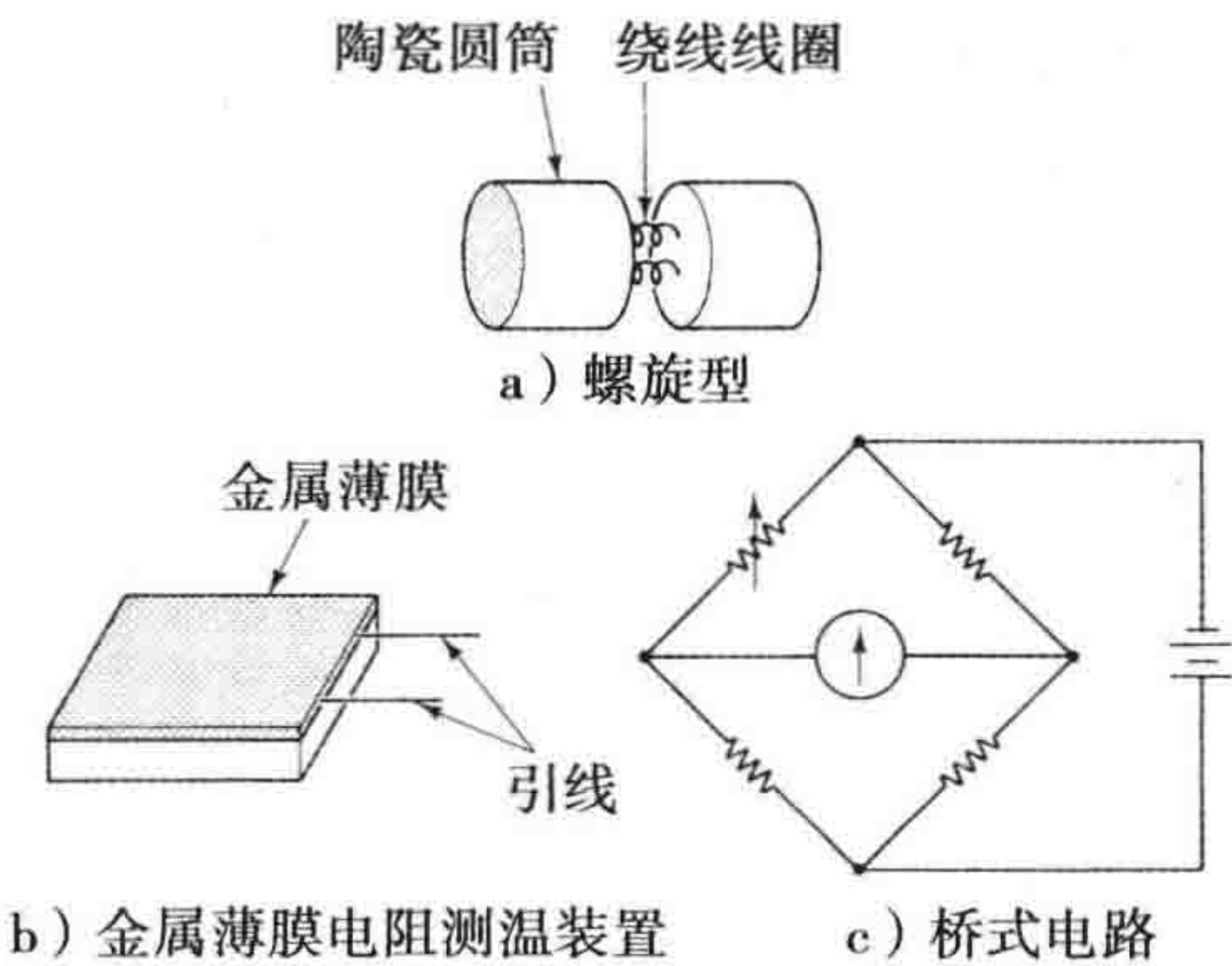


图 9-29 电阻测温器

9.15.7 半导体温度传感器

硅与锗都可以传感温度。石英晶体掺杂锗以后可检测绝对零度附近的温度。锗的负温度系数与热敏电阻相似，然而，硅具有正温度系数，所以它的测温范围局限在 -67~275 °F ( $1^{\circ}\text{F} = \frac{5}{9}^{\circ}\text{C}$ ) 之间。半导体温度传感器具有很好的线性特性，体积小，价格便宜。

9.15.8 压力传感器

我们有很多办法检测压力。应变计与压电现象是最常使用的两种方法，它们所产生的电信号输出可用于控制工业生产过程。不同的制造商使用不同的方法。每一种方法都使用了多



年，都有各自的特色，而这些年来各种方法也在不断完善以适应电子领域中的最新技术。

9.15.9 应变式传感器

图 9-30 所示为可满足许多工业需求的两类压力传感器。它们可靠、精确，在工艺流程与工厂自动化过程中可提供连续的（模拟）压力输入。这些基于应变计的传感器可测量应变变量或拉力。应变测量头被加在感知压力薄膜的一端，然后压力加到薄膜上，并产生一段时间的偏差，这使应变测量头受到应变，电阻值发生变化。通过给应变计提供恒定的电压，电阻的变化就可测量出来了。这样产生的输出取决于用户的需要，可以通过放大器与传感器中其他电路进行输出（见图 9-31）。

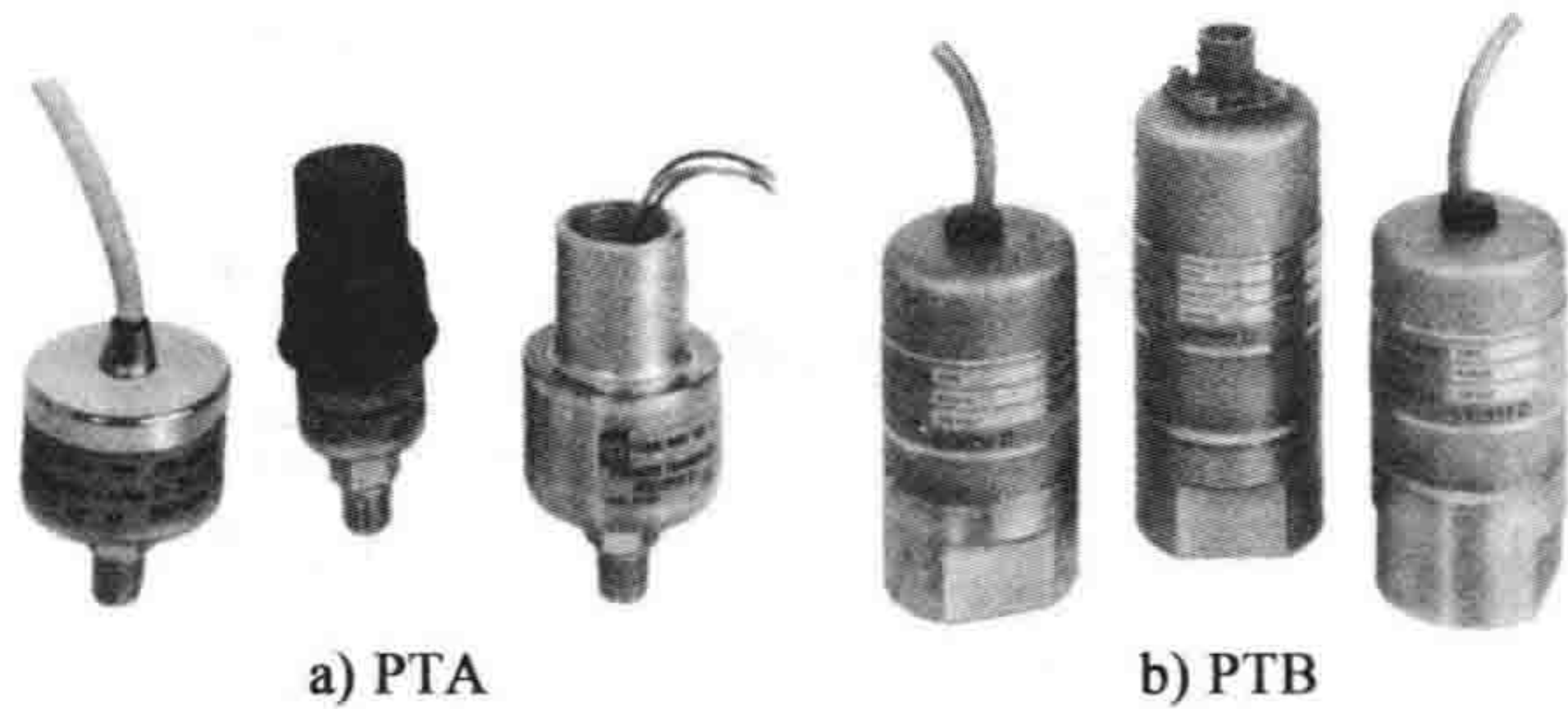


图 9-30 压力传感器（Square D 产品）

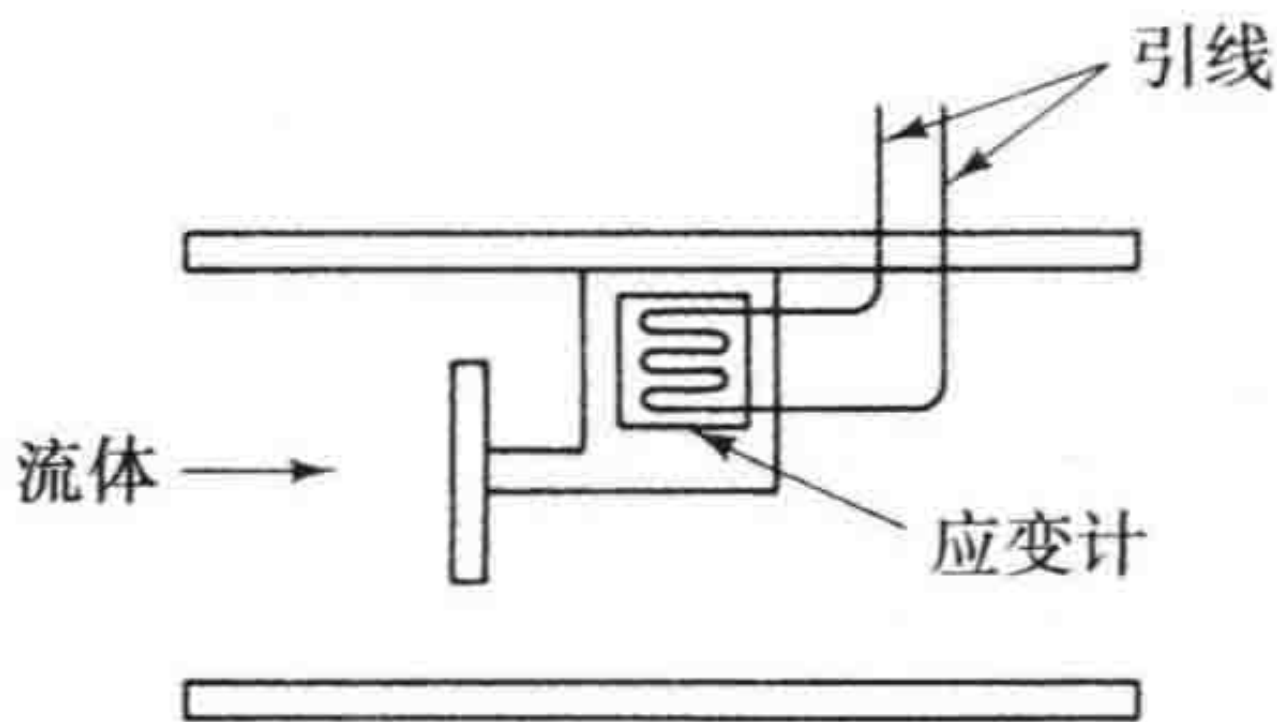


图 9-31 流量计中的应变计

9.15.10 压敏电阻传感器

这一类的传感器用于检测从 10~5000psi（1psi=6.894 757kPa）的压力。可在半导体电路中并入一个应变传感器来实现。

压力传感器应用于气压系统、液压系统、灌溉系统、润滑系统，加热、空气调节与通风系统，也用在能量管理系统、机器人、自动化工艺设备、电厂设施以及机床中。图 9-32 所示为传感器接入电路的方式。

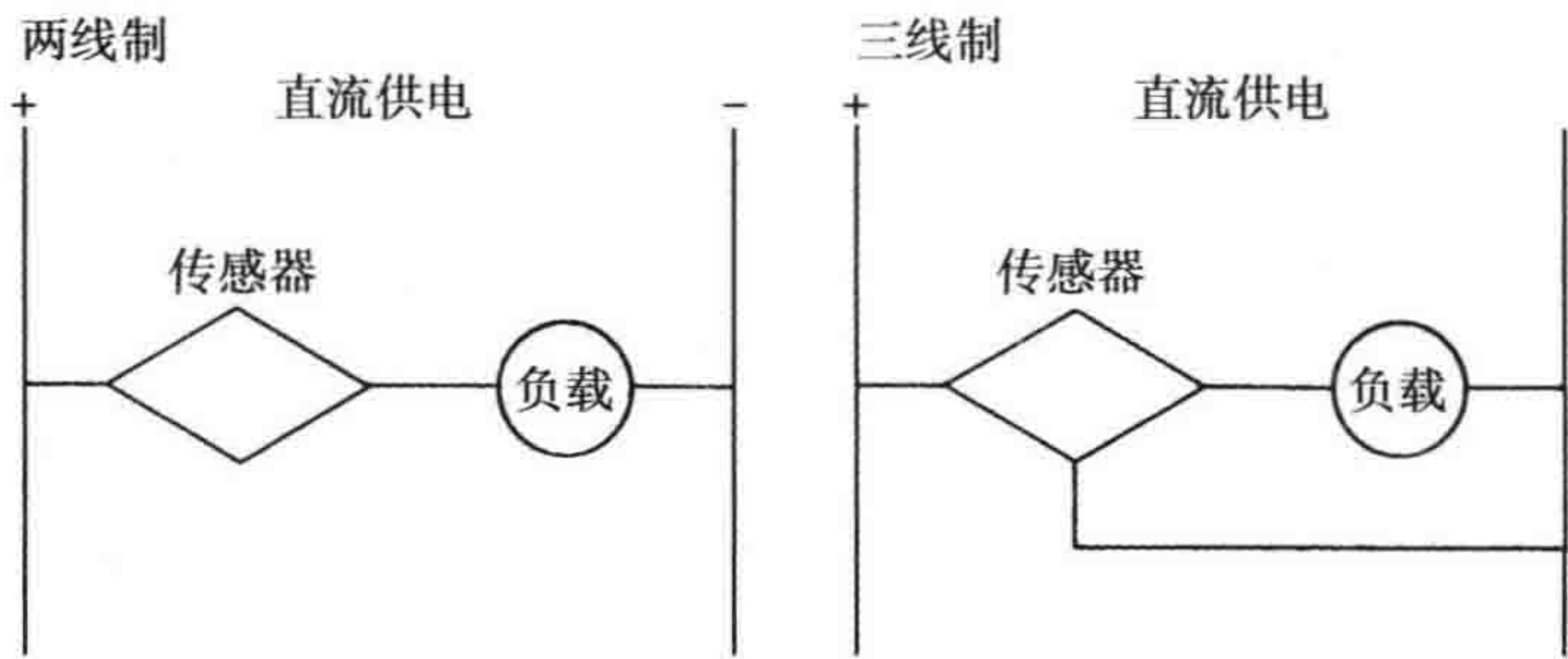


图 9-32 使用压力开关作为传感器的电路图（Square D 产品）

9.16 思考题

1. 说出 3 类定时器的名字。

2. 解释阻尼式定时器的工作原理。

3. 气动式继电器与阻尼式继电器相比有何优点？

4. 解释以下术语：通电延时，断电延时以及延时时间。

5. 通电延时继电器用在什么地方？
6. 电子定时器上的延时时间是如何设置的？

7. 固态定时器 / 计数器的 4 种模式分别是什么？

8. 指轮开关的用途？

9. DIP 开关是如何设置的？

10. 气动式延时继电器用在什么地方？

11. 画出定时器的通电延时与断电延时的符号。



12. 什么是电介质？什么时候会用到这个术语？
13. 说出测量温度的4种方法。
14. 热敏电阻的工作原理是什么？
15. 检测压力变化最常用的两种手段是什么？
16. DIP是什么意思？

17. 在工业上标准定时器是哪一种定时器？
18. RC网络是什么？
19. CR表示什么？
20. 通用延时继电器如何校正时间长度？

### 9.17 练习题

利用电容的充放电速率来完成电子电路中的定时已经有一段时间了。利用电阻-电容结合后的时间常数，可以对各种操作进行定时。由于现在许多定时器是基于电子的，所以复习一下 $\tau = R \times C$ 电路的基本工作原理可能起到很好的效果。

1. 一个 $10\mu\text{F}$ 的电容与一个 $1.5\text{M}\Omega$ 的电阻串联，该电路的时间常数是多少？
2. 若一个 $0.5\mu\text{F}$ 的电容与一个 $2\text{M}\Omega$ 的电阻串联后，接在一个 $120\text{V}$ 的直流电源两端，电路通电多久后电容两端的电压会达到 $75.84\text{V}$ ？
3. 若一个 $5\mu\text{F}$ 的电容与一个 $2\text{M}\Omega$ 的电阻串联后，接在一个 $250\text{V}$ 的直流电源两端，电路通电多久后电容两端的电压会达到 $248\text{V}$ ？

4. 一个 $10\mu\text{F}$ 的电容与一个 $1\text{M}\Omega$ 的电阻串联后的时间常数是多少？
5. 一个 $9\mu\text{F}$ 的电容与一个 $10\text{M}\Omega$ 的电阻串联后时间常数是多少？
6. 一个 $10\mu\text{F}$ 的电容与一个 $2\text{M}\Omega$ 的电阻串联后第二时间常数是多少？
7. 一个 $10\mu\text{F}$ 的电容与一个 $2\text{M}\Omega$ 的电阻串联后第三时间常数是多少？
8. 一个 $10\mu\text{F}$ 的电容与一个 $2\text{M}\Omega$ 的电阻串联后第四时间常数是多少？
9. 一个 $10\mu\text{F}$ 的电容与一个 $2\text{M}\Omega$ 的电阻串联后第五时间常数是多少？
10. 经过多少个时间常数后电容才会充满电？



## 第 10 章

# 传感与传感器

### 10.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 列举传感器的种类。
2. 描述接触式传感器与非接触式传感器的区别。
3. 解释限位开关如何当作传感器来使用。
4. 解释如何完成转速传感。
5. 描述防止反接制动。
6. 解释压力控制的工作原理。
7. 解释温度传感器的工作原理。
8. 描述螺母套管与密封套的作用。
9. 理解浮动开关如何当作传感器来使用。
10. 理解光电编码器的工作原理。
11. 说出二 - 十进制数 (BCD) 与发光二极管 (LED) 的定义。
12. 说出多路复用技术的定义。
13. 解释各类接近开关的工作原理。
14. 描述光电式开关的工作原理。
15. 列举 LED 作为光源的优点。
16. 描述射频识别系统的工作原理。
17. 描述扫描器的工作原理。
18. 解释视觉系统是如何工作的。

传感器是控制系统的基础，它们必须为高一级的控制器提供可用的输入。传感器需要收集数据，并给控制系统中的特定环节实时地传输数据。现有许多应用不同技术的不同类别的传感设备。传感器涉及十分广泛的技术，具有很多种物理形态，从一个简单的、可为控制系统提供 1 位信息的机电限位开关，到可存储高达 2KB 字节生产信息的射频触发终端。

### 10.2 传感器的分类

传感器分为接触式与非接触式，进一步分为内部式与外部式、被动式与主动式。每一年制造商的生产目录上都会增加多个种类的传感器。为了跟得上这一系列的变化，我们需要利用网络查找并阅读这些新装置的最新信息。

#### 10.2.1 接触式传感器

限位开关是一种接触式传感器，它可让系统检测到某个物体是否存在。如果这个物体



与限位开关接触，则系统知道这个物体是否近到可以开始进行下一步操作。如果开关并未闭合，表明物体丢失，系统需要做出相应的反应。通常会把这种反应作为所谓的报警条件。

力传感器、压力传感器、温度传感器与触觉传感器都会对接触做出反应。它们都会向另外的装置或中央单元传输信号以进行相应的处理。

10.2.2 非接触式传感器

压力、温度以及电磁的变化都可通过非接触式测量方式得到，它们通常会对磁场或光带的变化做出反应。当电磁场被扰乱时，会检测到变化并反馈给控制器。光束出现扰动时，也会如此。光束的变化——光强度的变化或光束是否存在这一变化——会发送给电子电路或控制器加以处理，然后这些信息会反馈到一个装置上，这样传感器就可以根据扰动的情况做出反应了。

10.3 存在传感器

存在传感器会指明物体的一部分或一块是否处于合适的位置，它们可以表示一种开 - 关状态。存在传感器是传输单位信息的状态设备。限位开关、接近开关与光电管都属于这一类设备。随着人们对于非接触式传感越来越重视，这些设备的体积变得更小、处理速度变得更快、可靠性变得更高了。

10.4 限位开关


可能最常用的一类传感器就是限位开关了。限位开关已经存在许多年，应用于几乎所有的电动操作设备中。限位开关的广泛使用导致其发展成许多不同类型的装置。一些装置被设计成通用型的，其他的设计成特定操作来使用。例如，它们可设计成耐腐蚀的，且具有不透油的密封触点，或者可将它们设计成插入式或非插入式的。已有人将这类开关设计成带有可编程功能的旋转凸轮限位型开关。

多种类型的传感器都属于限位开关（见图 10-1），它们可以是带复位弹簧杠杆型的，带保持触点杠杆型的，带复位弹簧的低操作扭矩型的，带复位弹簧推进型的，也可以是与检测、计数、停止、起动物体相接触的摆动杆或接触弹簧。限位开关也可设计成可编程的。图 10-2 所示为一个固态控制器，它可作为重复操作循环的机器设备来使用，在这些循环操作中移动可与轴旋转关联起来。它的限位通过 3 个螺钉调节位来控制（见图 10-3）。第 5 章有更多关于限位开关的例子。

滚轮杠杆				滚轮杠杆			
类型	材料	直径	宽度	类型	材料	直径	宽度
 不可调整式 半径 3/4" ①	尼龙	3/4"	9/32"	 位置不可调整式 半径 1 7/16"	尼龙	3/4"	9/32"
	金属	3/4"	17/64"		金属	3/4"	1/4"
 不可调整式 半径 1 1/2"	尼龙	3/4"	9/32"	 单向 半径 1 1/2"	尼龙	3/4"	9/32"
	尼龙	3/4"	1"		钢	3/4"	1/4"
	钢	3/4"	1/4"		滚珠轴承	3/4"	15/64"
	滚珠轴承	3/4"	15/64"				
	铍铜合金	3/4"	9/32"				

图 10-1 限位开关操纵杆（Allen-Bradley 产品）



滚轮杠杆				棒状杠杆		
类型	材料	直径	宽度			
 后面杠杆 不可调整式 半径 1½"	尼龙	¾"	9/32"		不锈钢棒 长度为 5"	1/8"
	尼龙	¾"	1"		不锈钢棒 长度为 8½"	1/8"
	尼龙	1½"	9/32"		不锈钢棒 长度为 11½"	1/8"
	钢	¾"	1/4"			5/64"
	钢	¾"	¾"		尼龙棒 长度为 12"	1/4"
 可调整式 半径 1½"~3"	尼龙	¾"	9/32"		不锈钢棒 长度为 5"	1/16"
	尼龙	¾"	1"			
	尼龙	1½"	9/32"		不锈钢棒 长度为 5"	1/16"
	钢	¾"	1/4"			
	滚珠轴承	¾"	15/64"		尼龙特隆环状杆 长度为 6" 环宽度为 2"	3/16"
 分叉式 半径 1½"	尼龙 正面的是左侧的轮 后面的是右侧的轮	¾"	9/32"			
	钢 正面的是左侧的轮 后面的是右侧的轮	¾"	1/4"			
	尼龙 两个滑轮都在正面	¾"	9/32"			
	尼龙 两个滑轮都在正面	¾"	1"			
	钢 两个滑轮都在正面	¾"	1/4"			
	尼龙 正面的是左侧的轮 后面的是右侧的轮	¾"	9/32"			
	尼龙右侧可调整	¾"	9/32"			
 微调 半径 1½"	钢右侧可调整	¾"	1/4"			
	滚珠右侧可调整	¾"	15/64"			
	尼龙左侧可调整	¾"	9/32"			
	钢左侧可调整	¾"	1/4"			
	滚珠左侧可调整	¾"	15/64"			
	尼龙右侧可调整	¾"	1"			

① 1in (1") = 2.54cm。

图 10-1 (续)

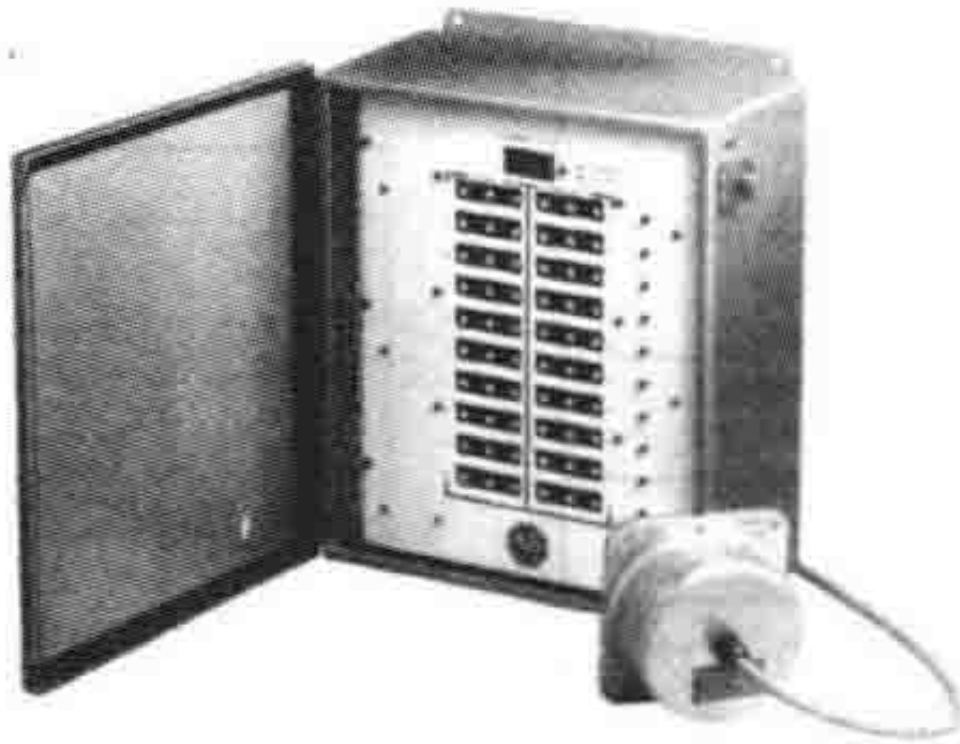


图 10-2 可编程限位开关 (Allen-Bradley 产品)



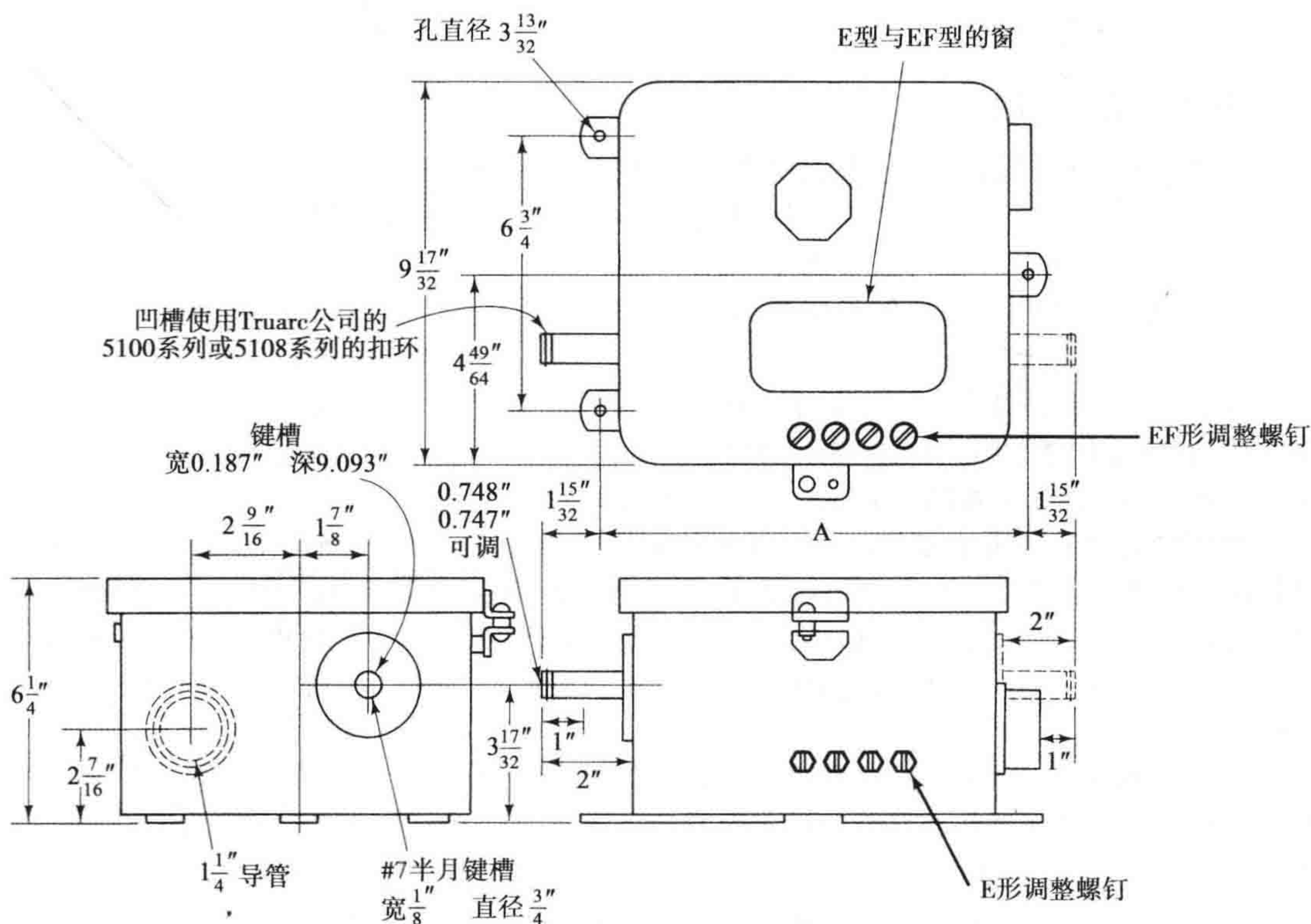


图 10-3 旋转凸轮限位开关的调整螺钉 (Allen-Bradley 产品)

10.5 转速开关

转速传感可用于顺序起动传送机。我们需要第一台传送机接近全速运行后，第二台传送机才可以起动，此时可利用转速开关，根据相应从动轴的旋转情况，判断出传送机上物体移动的方向（见图 10-4）。转速传感器（转速开关）也可与自动起动装置一起，为笼型电动机提供反接制动或为防止反接制动提供保护功能。这种控制装置可以作为转速传送开关或者通过从动轴判断出传送机的旋转方向。

图 10-4 所示为用于反接制动的转速开关。我们用到一个带常开触点的开关，要将它设计成可在电动机接近停转时自动切断反接制动电源。触点动作的转速是可调节的，这样可以避免电动机的惯性运行或电动机的反向旋转。转速开关可以接成在任意旋转方向上均可反接制动。

转速开关也可用于防止反接制动，这时用到的是带常闭触点的开关。可将这个开关设计成反向触点保持断开，直到所驱动的电动机转速降到预先设定的安全转速。电动机达到这个转速时，触点闭合，使电动机通过指定的方式反转或制动。转速开关可在两个方向或任意一



图 10-4 转速开关 (Allen-Bradley 产品)



个方向提供防止反向制动。

转速开关的工作原理

当转速开关的轴转动时，电磁感应的连杆机构会使触点动作。一个触点用于正向操作，一个触点用于反向操作。在反接制动电路中，只要转速开关的转速超过触点设定的动作转速，正向触点或反向触点就会闭合（哪个触点闭合取决于旋转方向）。然而，当转速开关的轴速下降时，保持触点闭合的电磁转矩也会减小，超过临界点后触点返回到常开的位置。

可以调整触点，以确定其动作时转速开关的转速。调整过程是通过改变两个外部的螺钉来完成的，这两个螺钉分别对应各自的触点。达到动作温度以后，转动螺钉，调整触点动作的临界点。如果移动装置的惯量发生改变，可能需要重新调整。

在某些情况下，转速开关轴的意外转动可能闭合开关触点，起动电动机。为了避免这种情况，转速开关需要配备一个闭锁螺线管。只要闭锁线圈没有得电，闭锁螺线管就可用机械方式阻止触点动作。这个特别的装置可以是出厂时就安装好的，也可以现场安装。如果用到了闭锁螺线管，那么需要在线路中进行一个细微的调整。图 10-5 所示为用于闭锁螺线管 (LO) 的端子。

图 10-6 所示为控制电路，反接制动（带自锁保护）为可选电路。操作过程如下——按下起动按钮，正向接触器闭合，电动机正向转动。常闭触点 (F) 断开反向接触器。转速开关的正向触点闭合。

按下停止按钮，正向接触器失电。反向接触器得电，电动机反接制动。当电动机的转速降到开关预先设定的转速后，转速开关的触点断开，反向接触器失电。

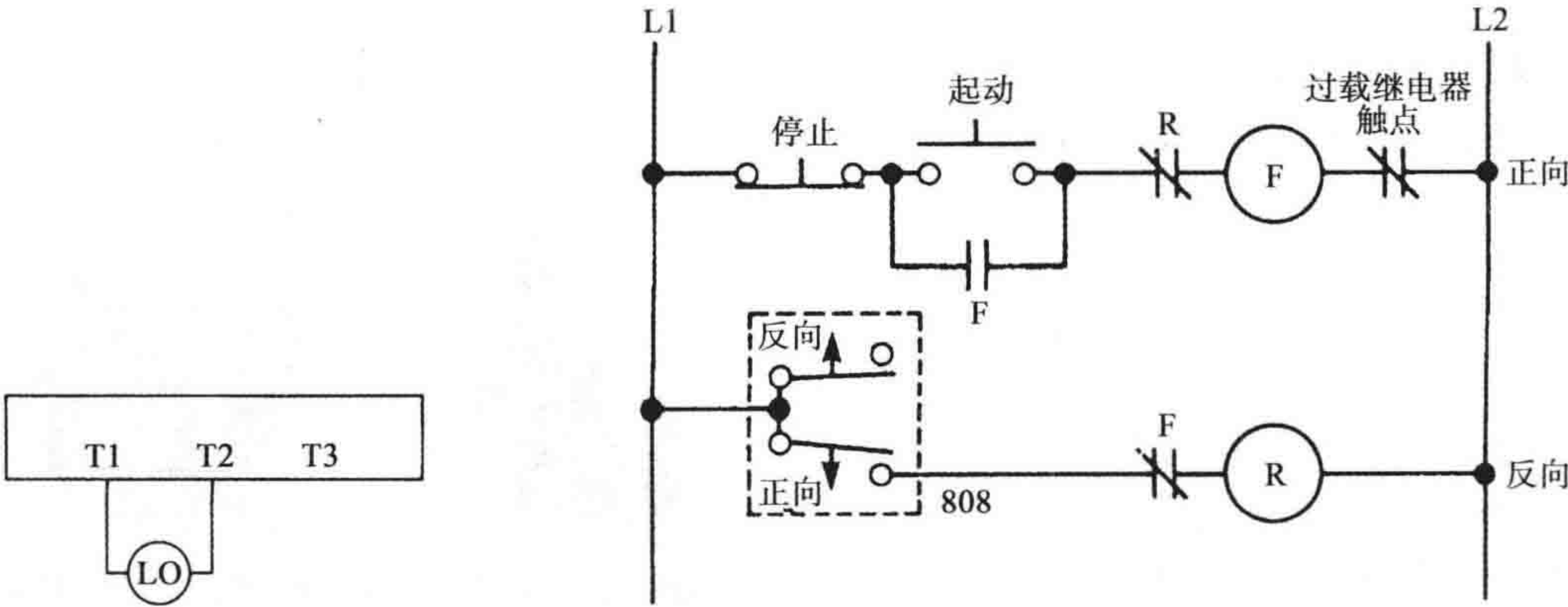


图 10-5 闭锁螺线管的接线

图 10-6 典型的反接制动电路 (Allen-Bradley 产品)

10.6 压力控制器

压力控制器是基于对施加到波纹管或活塞上的气体压力（空气或天然气）或液体压力（水或油）的变化做出反应的工作原理来实现的。这个压力通过主弹簧来平衡。改变主弹簧上的应力（通过旋转范围调整螺钉）可以改变触点释放的压力上限。转动调整螺钉（当提供调整螺钉时）会改变辅助弹簧上的应力，可以改变触点重置到静态时的压力下限。通过使用不同尺寸的波纹管或活塞，可以得到许多不同的压力范围与压力差值，以满足多方面的需求。



10.7 工作原理

图 10-7 所示的压力控制器可对气体压力（空气或天然气）或液体压力（油或非腐蚀性液体）的改变做出响应时断开或闭合电路。注意活塞控制器不能用于空气或水的控制。

执行器可以是波纹管型也可以是活塞型，一旦它被施加了压力，主弹簧就会受到执行器的力。当主弹簧所受的力超过临界值时，杠杆会驱动触点模块。这一过程移动了触点，被称作跳闸设定。杠杆的设计可以放大执行器的动作，使行程更短，这会延长波纹管的寿命。

杠杆组件也包括一个近乎无摩擦的偏心触发装置。这可以使触点模块有了正向的快速动作，延长了触点的寿命。当压力减小，差值弹簧上受力增加时，触点会回到正常的状态，这称为复位。改变主弹簧上的受力（通过转动操作范围调节螺钉），可确定触点释放的时间。改变差值弹簧所受的力（通过转动差值调节螺钉），可确定触点复位的时间。设定释放与复位值即可确定装置的工作参数。

铜合金波纹管可用于空气、油、无腐蚀性液体、蒸汽或天然气中，可承受的压力范围为 30inHg<sup>⊖</sup>到 900bf/in<sup>2</sup><sup>⊙</sup>。不锈钢波纹管可用于许多具有腐蚀性的液体或气体中，压力范围最大可至 375bf/in<sup>2</sup>。

触点模块是单刀双掷型的，可通过接线让它根据压力的增减来断开或闭合。触点模块可制成可更换组件的形式，见图 10-8。

制冷型压力控制器的控制范围为 20inHg 到 120bf/in<sup>2</sup>。高压切断控制器的压力控制范围为 100~500bf/in<sup>2</sup>。不管有没有满足高压安全调整需求的最大限定范围内的停机功能，它们都是可用的。图 10-9 所示为带有最大和最小调整值与差动调整值的释放压力、复位压力设定。图 10-10 所示为通用应用的选择范围。波纹管用于最大为 650bf/in<sup>2</sup> 的

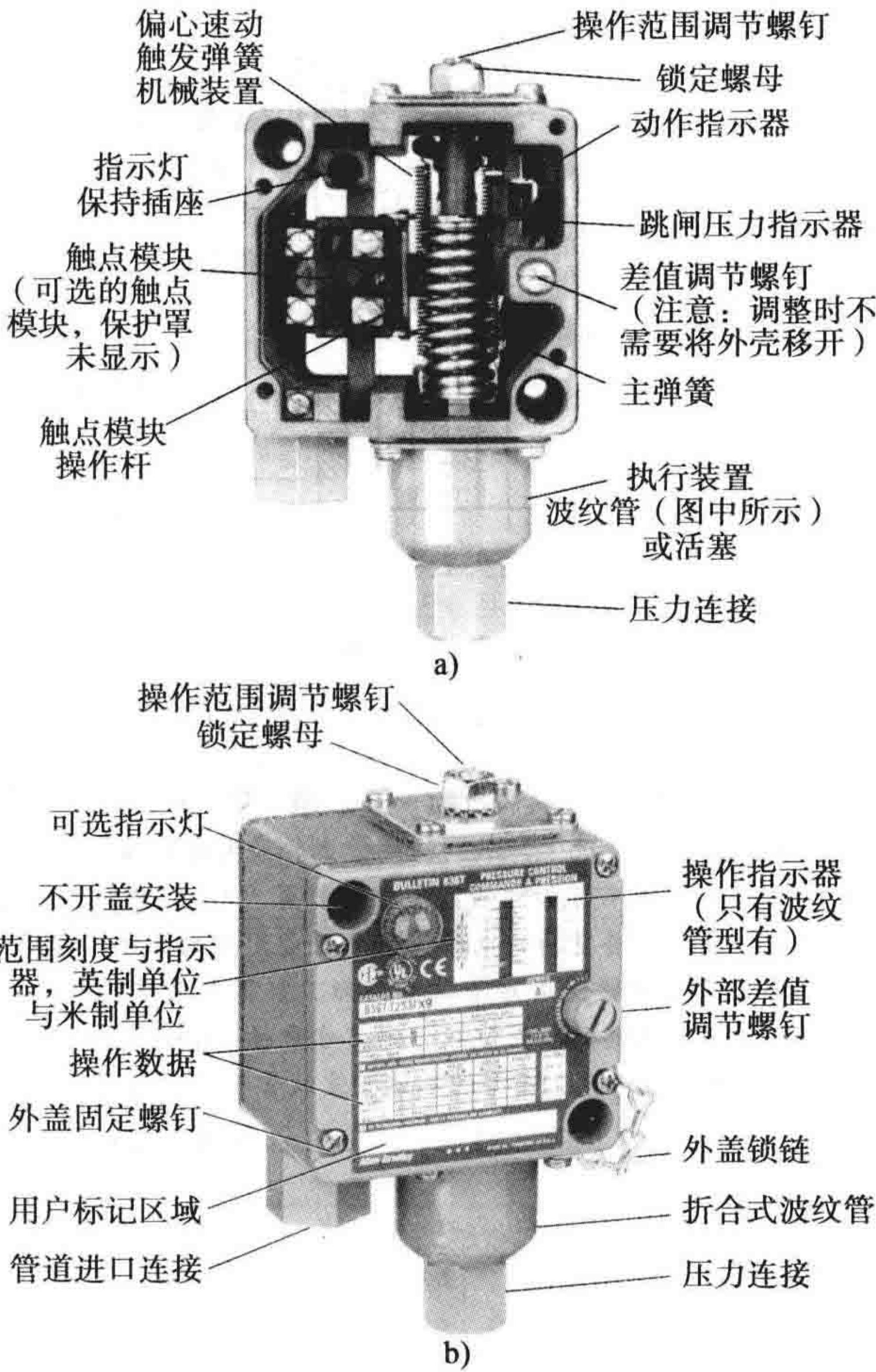


图 10-7 压力控制器——传统的机械装置 (Allen-Bradley 产品)

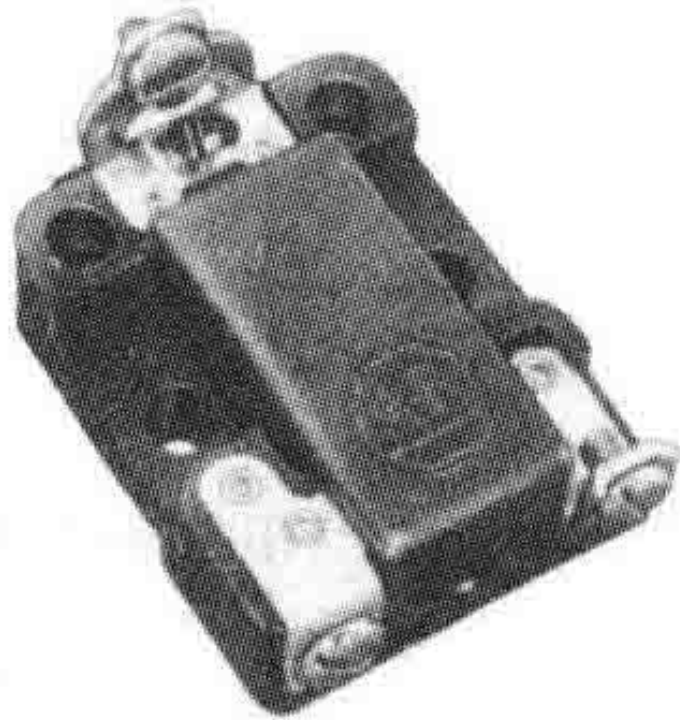


图 10-8 用于压力控制的触点模块更换组件 (Allen-Bradley 产品)

⊖ 1inHg=3 386.39Pa。——编辑注  
⊙ 1bf/in<sup>2</sup>=6 894.76Pa。——编辑注



低压情况。活塞组件用于高压情况，压力范围最大可达 5000bf/in<sup>2</sup>。真空控制器中会用到一个隔膜。

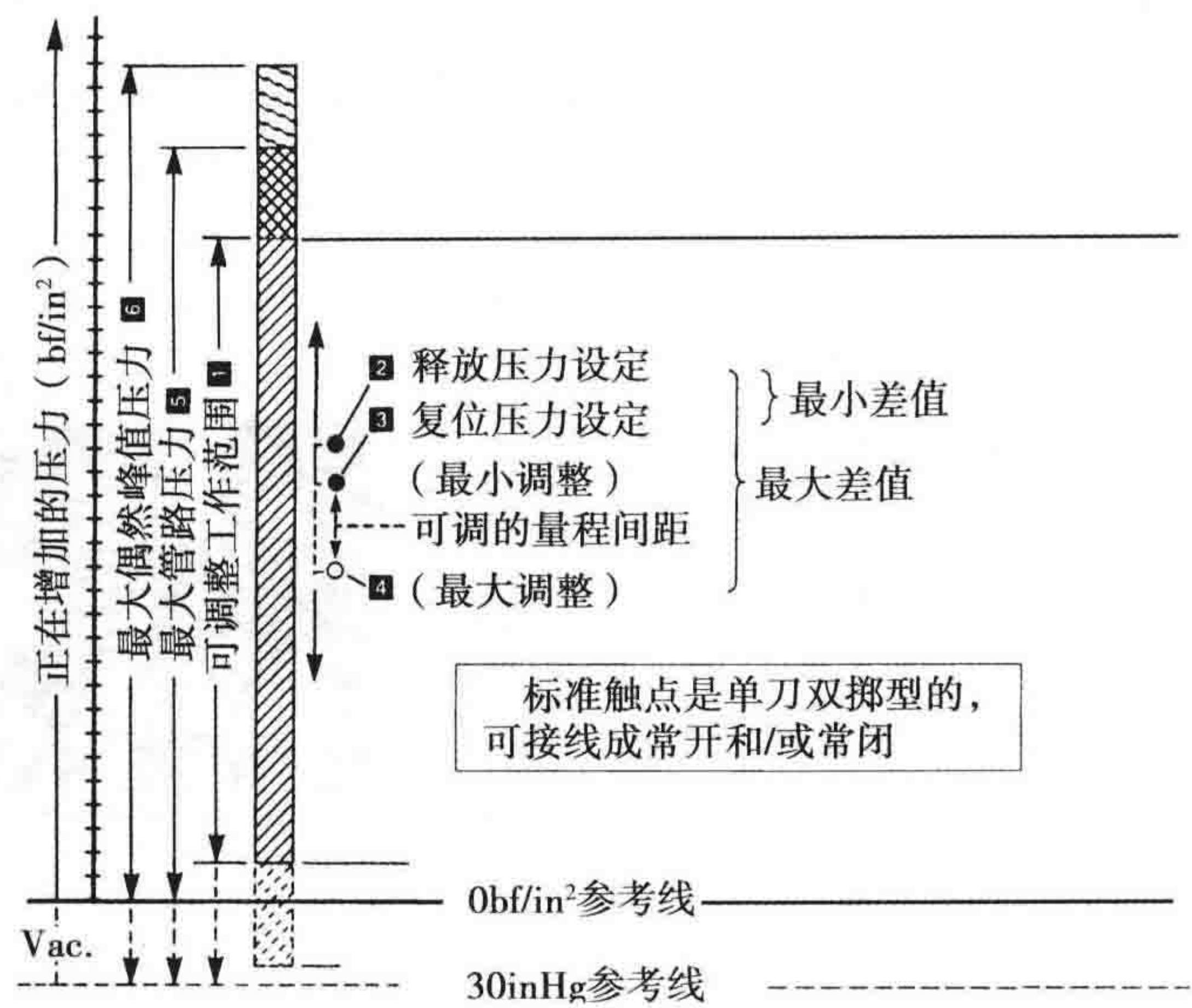


图 10-9 压力控制的释放点 (Allen-Bradley 产品)

1. 工作范围，当为了满足最小差值进行调整时，触点在其中可以适时释放 2 与适时复位 3。2. 释放——较高的压力 (温度) 设定。3. 触点改变状态。复位——较低的压力 (温度) 设定。4. 触点回到常态。(注意：差值是释放 2 和复位 3 (最小调整设定) 与 4 (最大调整设定) 之间的差别)。5. 在不造成永久伤害的情况下，加到波纹管上的最大持续压力。控制不可一直处于这样的压力下循环 (注意：这样大小的压力不可加到活塞型控制装置上)。6. 系统发生的瞬变现象 (脉冲) 会在几毫秒的时间内达到稳定。我们需要复杂的电子仪表来测量变化的振幅、频率以及波形持续时间。若压力经常达到极限峰值，那么波纹管的使用寿命就会缩短。机器或系统的起动或停止过程产生的峰值压力每天不超过 8 次，则是可以忽略的。7. Vac.——英寸汞柱 (inHg)。8. 铜合金波纹管可用于水、空气、不腐蚀这种合金的液体或气体中。316 型的不锈钢波纹管可用于具有腐蚀性的液体或气体中。

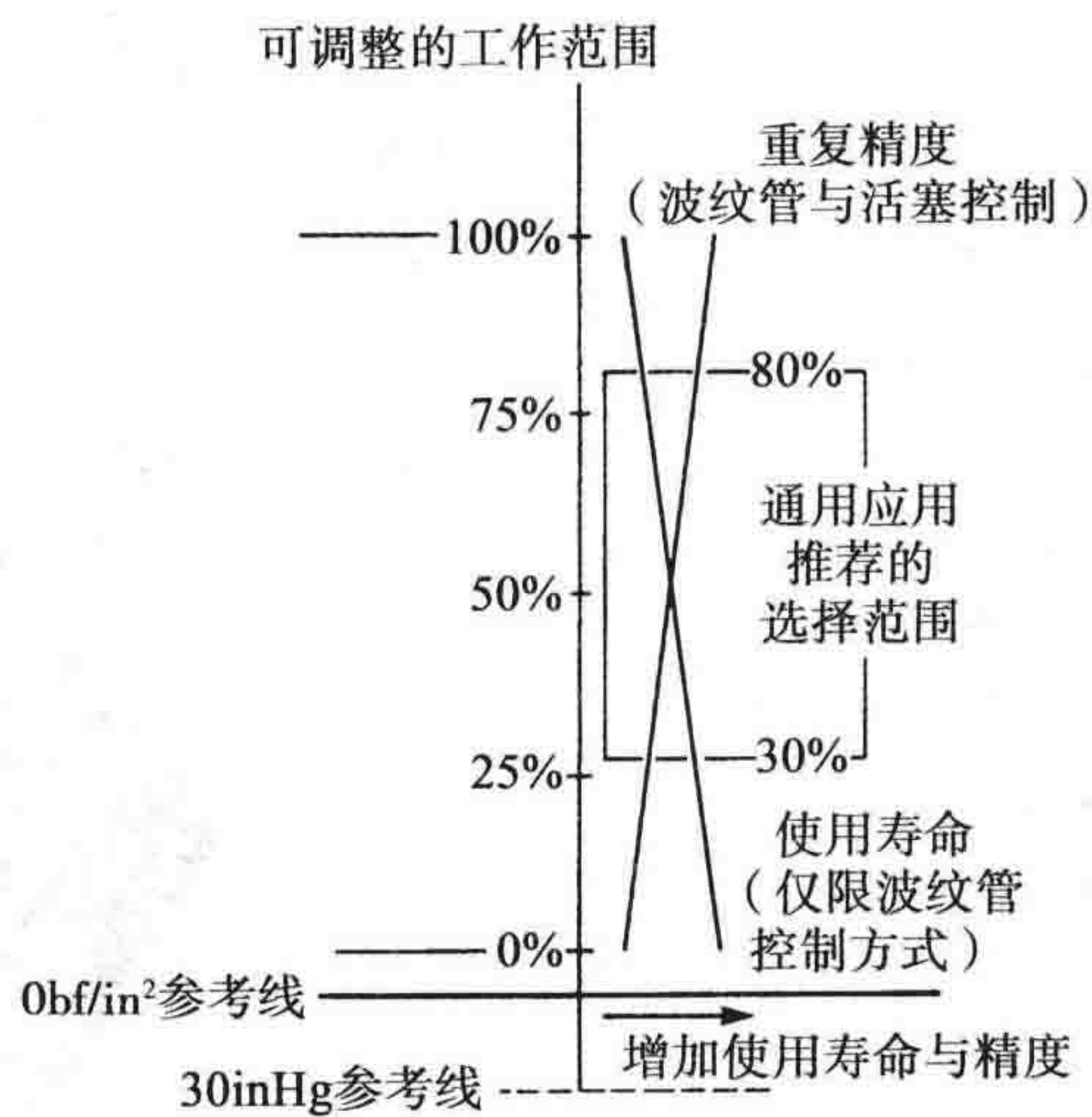


图 10-10 压力控制工作点 (Allen-Bradley 产品)

## 10.8 温度控制器

有的温度控制器有用于感知温度变化的直接垂直浸入式测温包，有的型号有远程控制的



毛细管与测温包（见图 10-11）。温度控制器与压力控制器类似，它们的区别在于温度控制器中用到了一个密闭的化学方法填充波纹管系统。系统中压力的变化与测温包温度的变化成比例。系统中温度反应介质是一种液体，这种液体的蒸汽压随着测温包温度的升高而增加。当测温包的温度下降时，蒸汽压减小。压力变化通过一个毛细管传给波纹管，这样根据预先设定可以实现对控制过程的操作。温度控制利用这种精确的、较长使用寿命的蒸汽压力来感知温度，可检测从  $-150 \sim +570\text{ }^{\circ}\text{F}^{\ominus}$  范围内的一系列温度。

铠装毛细管可对所有测温包与毛细管型温度控制器进行附加保护。铜制的测温包与毛细管、青铜的铠甲以及带有不锈钢测温包和毛细管的控制器可用于多种测量环境。

螺母套管与密封套

螺母套管用于系统的安装与保护，使得在必要时系统不必断电就可以移除测温包。密封套使常规的毛细管上任何希望得到密封的位置都能得到密封。铠装毛细管螺母套管与密封套包括一个支撑铠甲的固定螺钉，铠装可使毛细管不会暴露在外。螺母套管也可使用一个锁紧螺母保护测温包（见图 10-12）。图 10-13 所示为这些控制器的触点模块。

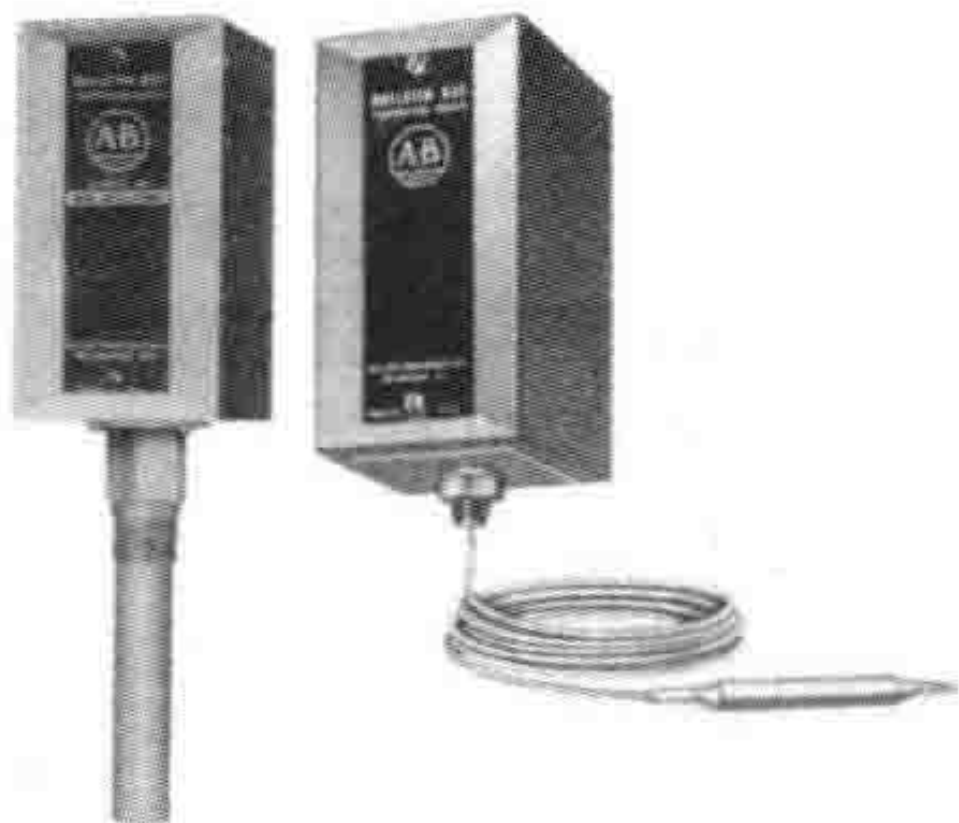
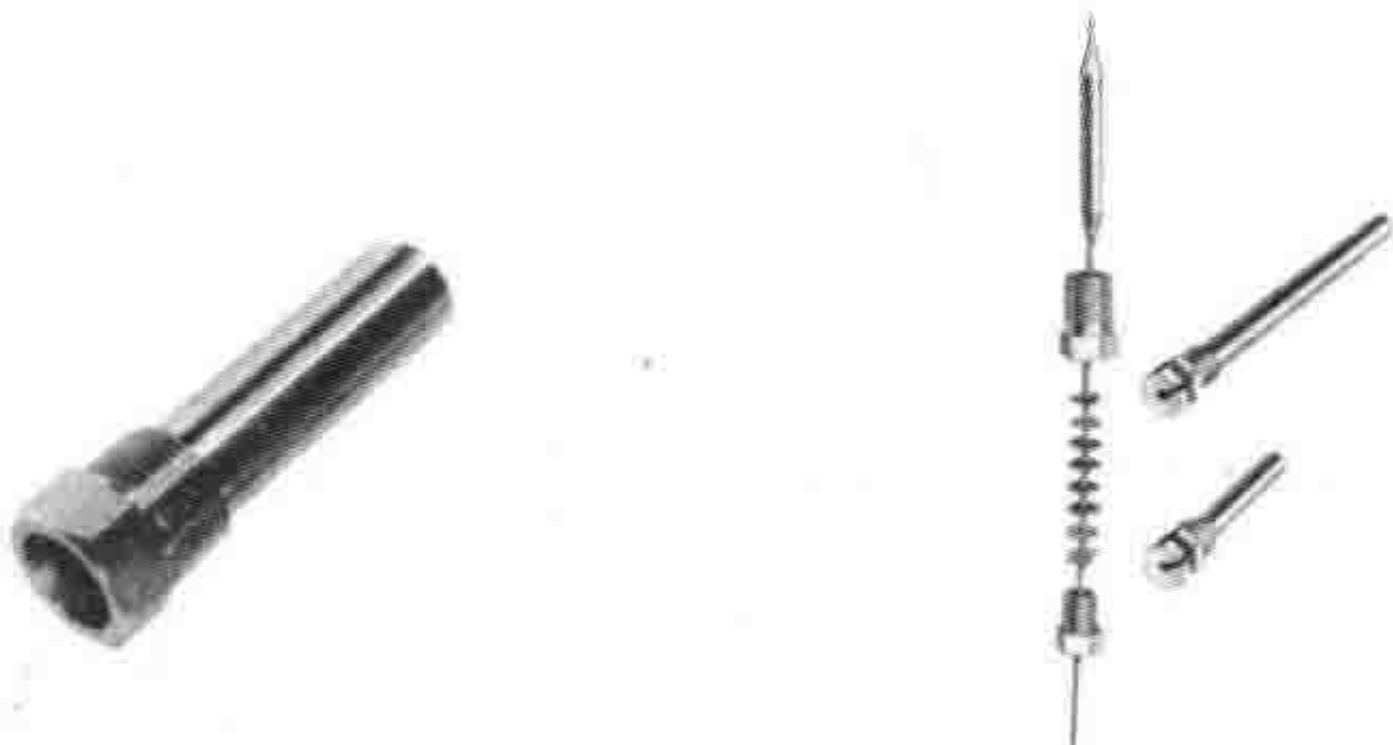


图 10-11 温度控制器（Allen-Bradley 产品）



a) 浸入式螺母套管，密封套装配件    b) 浸入式螺母套管

图 10-12 螺母套管与密封套（Allen-Bradley 产品）

触点模块			
符号		描述	额定值
压力控制器	温度控制器		
自动操作			
		单刀单掷，当压力 / 温度上升或下降时，触点会自动断开或闭合	无感性 5A, 240V 3A, 600V 控制电路额定值 交流电：125V · A    24~600V 直流电：57.5V · A    115~230V
		单刀双掷——缓动触点，无快动作。压力 / 温度上升时，触点闭合，压力 / 温度下降时，触点闭合，且触点闭合期间电路是断开的	控制电路额定值 交流电：125W    24~250V
		单刀单掷，常开——压力 / 温度上升时，触点闭合	1hp 交流 230V 0.5hp 交流 115V 控制电路额定值
		单刀单掷，常闭——压力 / 温度上升时，触点断开	交流电：125V · A, 24~110V 交流电：345V · A, 110~600V 直流电：57.5V · A, 110~250V

图 10-13 压力控制器与温度控制器（Allen-Bradley 产品）

$\ominus 1^{\circ}\text{F} = \frac{5}{9} \text{ }^{\circ}\text{K}$ 。——编辑注



触点模块			
符号		描述	额定值
压力控制器	温度控制器		
自动操作			
		单刀单掷，常开——压力 / 温度上升时，触点闭合	1hp 交流 115V 1.5hp 交流 230V 控制电路额定值 交流电：600V · A，110~600V 直流电：57.5V · A，110~250V
		单刀单掷，常闭——压力 / 温度上升时，触点断开	
		双回路，单刀单掷，常开——一个公共端与两个分开的触点相连接，压力 / 温度上升，触点闭合	无感性 5A，240V 3A，600V 控制电路额定值 交流电：125V · A，24~600V 直流电：57.5V · A，115~230V
		双回路，单刀单掷，常闭——一个公共端与两个分开的触点连接，压力 / 温度上升，触点断开	
手动复位			
		单刀单掷，常开——预先设定压力 / 温度下降时，触点断开，触点维持断开直到系统恢复正常的运行状态，此时触点可手动复位	无感性 5A，240V 3A，600V 控制电路额定值 交流电：125V · A，24~600V 直流电：57.5V · A，115~230V
		单刀单掷，常闭——压力 / 温度上升时，触点断开，触点保持断开直到系统恢复正常运行状态，此时触点可手动复位	
		单刀双掷，一个触点是常闭的——压力 / 温度上升时，触点断开，且保持断开直到系统恢复到正常运行状态，此时触点可手动复位。当第一个触点断开时第二个触点闭合	

图 10-13 （续）

10.9 浮动开关

浮动开关也是一种传感器，它们可以为从水池或水箱中抽取液体的电动机提供自动控制。它们既有电动机模式的参数也有控制器模式的参数（见图 10-14）。



图 10-14 浮动开关（Allen-Bradley 产品）



浮动开关有一个快速动作的机械装置，可实现快速接通触点与快速断开触点的动作。一旦机械装置的移动距离达到要求，快速动作可提供很高的快速突变力。这一类开关可使用铜、黄铜以及不锈钢安装在墙面或地面上，适应不同深度的水箱或水池。图 10-15 列举了不同种类的浮动开关。

描述	安装在墙上	安装在地面															
<p><b>单臂杠杆</b></p> <p>浮球固定在杆的一端，杆的顶端有可调限动环的操作开关。垂直的浮球运动可能需要导架</p> <p>最大杠杆长度</p> <table><tr><th>型号</th><th>铜 / 黄铜</th><th>不锈钢</th></tr><tr><td>A</td><td>9ft<sup>⊖</sup></td><td>6ft</td></tr><tr><td>B</td><td>18ft</td><td>6ft</td></tr><tr><td>C</td><td>18ft</td><td>6ft</td></tr><tr><td>D、DS</td><td>9ft</td><td>6ft</td></tr></table>	型号	铜 / 黄铜	不锈钢	A	9ft <sup>⊖</sup>	6ft	B	18ft	6ft	C	18ft	6ft	D、DS	9ft	6ft	 <p>包括两根 3ft 长直径为 0.375in<sup>⊖</sup>的黄铜管，带管接头、限动环以及铜质浮球</p>	 <p>包括地面安装托架，20ft 长直径为 1in 的管道。安装配件，两根 3ft 长直径为 0.375in 的黄铜管，带管接头、限动环以及铜质浮球</p>
型号	铜 / 黄铜	不锈钢															
A	9ft <sup>⊖</sup>	6ft															
B	18ft	6ft															
C	18ft	6ft															
D、DS	9ft	6ft															
<p><b>双臂杠杆</b></p> <p>双臂杠杆带有配重来抵消杆和浮球的重量，浮球在杆上上下移动，所以尽管水位变化很大，浮球只移动很短的距离，杆的顶端被固定到开关杠杆上。垂直的浮球运动可能需要导架</p> <p>最大杠杆长度</p> <table><tr><th>型号</th><th>铜 / 黄铜</th><th>不锈钢</th></tr><tr><td>A</td><td>33ft</td><td>6ft</td></tr><tr><td>B</td><td>33ft</td><td>—</td></tr><tr><td>C</td><td>33ft</td><td>—</td></tr></table>	型号	铜 / 黄铜	不锈钢	A	33ft	6ft	B	33ft	—	C	33ft	—	 <p>包括浮动开关的双臂杠杆，配重，两根 3ft 长直径为 0.375in 的黄铜管，带管接头、限动环以及铜质浮球</p>	 <p>包括浮动开关的双臂杠杆，地面安装托架，20ft 长直径为 1in 管道。安装配件，两根 3ft 长直径为 0.375in 的黄铜管，带管接头、限动环以及铜质浮球</p>			
型号	铜 / 黄铜	不锈钢															
A	33ft	6ft															
B	33ft	—															
C	33ft	—															
<p><b>双平行臂</b></p> <p>长达 33ft 的非导架杆。平行杠杆的设计保持了杆的垂直，否则杆就会向一边移动，浮球在杆上上下移动，所以尽管水位变化很大，浮球只移动很短的距离，杆的顶端被固定到开关杠杆上</p> <p>最大杠杆长度</p> <table><tr><th>型号</th><th>铜 / 黄铜</th><th>不锈钢</th></tr><tr><td>A</td><td>33ft</td><td>6ft</td></tr><tr><td>B</td><td>33ft</td><td>—</td></tr><tr><td>C</td><td>33ft</td><td>—</td></tr></table>	型号	铜 / 黄铜	不锈钢	A	33ft	6ft	B	33ft	—	C	33ft	—	 <p>包括浮动开关的双臂杠杆，配重，两根 3ft 长直径为 0.375in 的黄铜管，带管接头、限动环以及铜质浮球</p>	 <p>包括浮动开关的双臂杠杆，配重，地面安装托架，20ft 长直径为 1in 管道。安装配件，两根 3ft 长直径为 0.375in 的黄铜管，带管接头、限动环以及铜质浮球</p>			
型号	铜 / 黄铜	不锈钢															
A	33ft	6ft															
B	33ft	—															
C	33ft	—															
<p><b>双臂杠杆，双滑轮</b></p> <p>双滑轮是一个自我支撑设备。链条上有一个浮球固定在一个滑轮的一端，另一端固定有一个配重。链条上的可调限动环移动浮动开关操纵杆</p>	 <p>包括双滑轮托架，15ft 带限动环的青铜链、配重以及铜质浮球</p>	 <p>包括双滑轮托架，15ft 带限动环的青铜链、配重以及铜质浮球，20ft 长直径为 1in 管道和安装配件</p>															
<p><b>双臂杠杆，单槽轮</b></p> <p>使用 A 型浮动开关，单槽轮安装在浮动开关的顶部，链条一端固定浮球，另一端固定着配重。链条上的可调限动环移动浮动开关的操纵杆</p>	 <p>包括一个滑轮，15ft 的青铜链，限动环、配重以及铜质浮球</p>	 <p>包括一个滑轮，15ft 的青铜链，限动环、配重以及铜质浮球，20ft 长 1in 管道和安装配件</p>															

图 10-15 自动浮动开关（Allen-Bradley 产品）

⊖ 1ft=0.304 8m。——编辑注  
⊖ 1in=0.025 4m。——编辑注




描述	安装在墙上	安装在地面																					
<div>单臂杠杆，独立滑轮</div> <p>两个滑轮和这些配件都是独立于开关的。链条一端固定浮球，另一端固定着配重。链条上的可调限动环移动浮动开关的操纵杆</p>	<div></div> <p>包括两个独立安装的滑轮，带有限动环的 15ft 青铜链配重以及铜质浮球</p>																						
	1 浮体尺寸表																						
	<table><tr><th>浮体</th><th>球体直径</th><th>细长球体 直径 × 长度</th></tr><tr><td>A</td><td>6"</td><td>—</td></tr><tr><td>B</td><td>7"</td><td>—</td></tr><tr><td>C</td><td>8"</td><td>—</td></tr><tr><td>D</td><td>9"</td><td>—</td></tr><tr><td>E</td><td>10"</td><td>—</td></tr><tr><td>F</td><td>—</td><td>7"×12.5"</td></tr></table>		浮体	球体直径	细长球体 直径 × 长度	A	6"	—	B	7"	—	C	8"	—	D	9"	—	E	10"	—	F	—	7"×12.5"
	浮体	球体直径	细长球体 直径 × 长度																				
A	6"	—																					
B	7"	—																					
C	8"	—																					
D	9"	—																					
E	10"	—																					
F	—	7"×12.5"																					
注意：浮体尺寸的大小并不能说明可以交换开关装配器件																							

图 10-15 （续）

10.10 编码器

可将工业光电编码器设计成能把机械轴的旋转情况转化为二 - 十进制数（BCD）或者可选格雷码形式的电信号。格雷码被定义为二进制的一序列数字，格雷码一次只能改变一位数值。这一类的编码器（见图 10-16）用于工业环境中，采用的是非接触式光学设计，用于高速、低转矩的操作。由于利用了电子元器件，所以这类编码器具有较长的使用寿命与较高的可靠性，有发光二极管作为光源。金属码盘将一同使用光纤导光管与单 LED 光源。BCD 码的处理速度为 800r/min，而格雷码的速度为 2000r/min。

包括一些组合逻辑电路在内的许多数字电路都能够处理 BCD 码数据。二 - 十进制码是一种用 4 位二进制数表示 1 位十进制数字的一种编码。这是一种常用的编码，用于从计算器键盘一类的设备中获取十进制信息，可将其转化为二进制信息，再通过数字电路进行处理。同样，这种编码也可将数字电路中的二进制输出转化为十进制信息显示在输出设备上，如 7 段发光二极管（LED）或液晶显示屏（LCD）（见表 10-1）。由编码器生成的信息可以传送给设计好的电路，此电路利用这些信息并以 r/min 为单位的形式显示出速度来，这些信息也可用于调整电动机控制器的输出来控制电动机的转速。

10.10.1 光学可编程控制编码器

编码器也可与可编程序控制器配合使用，它包括所有必要的电子元器件，以便根据可编程序控制

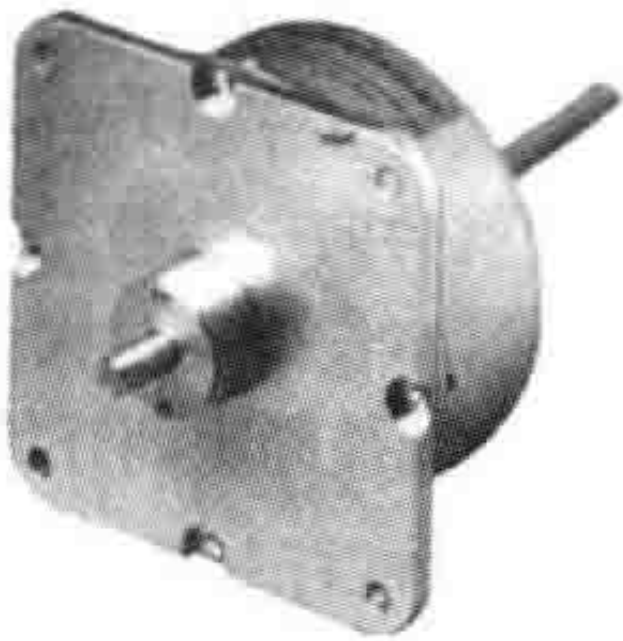


图 10-16 光学单匝绝对值编码器  
(Allen-Bradley 产品)

表 10-1 BCD 码与十进制数的对应关系

BCD 码	十进制数
0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1001	9



器的指令提供锁存输出。当编码器锁存时,数据预读取输出会给可编程序控制器发出信号。这些编码器可多路传输,这样带有一套输入卡片/模块的可编程序控制器就可以接受多个编码器的数据了。多路传输与锁存电路独立工作。

### 10.10.2 多路传输

在多路传输控制线上放置一个逻辑零(0)会让所有输出变成高阻状态,这样可以使可编程序控制器利用一套输入卡片/模块来扫描多个编码器。多路转换器是一类组合的数字电路,有现成的芯片。多路传输技术使得单导线(总线)可以针对多种信号源交替传送信号。多路转换器也称为数据选择器,它们像电控的旋转开关一样工作。输出线路就像旋转开关的一极,而输入线路则像旋转开关的不同位置。数据选择器可提供 16 条输入线路。

## 10.11 接近开关

接近开关是为这样的工业环境所设计的:在一些地方,需要不接触物体就能检测是否存在黑色及有色金属。它们是自包含的双线制装置,在 120V 交流控制电路中使用(见图 10-17)。

### 10.11.1 工作原理

接近开关满足多种用途,具有较高的额定输出——1A 的最大连续电流与 10A 的短时冲击电流。接近开关能够激励外部负载,如继电器、接触器、电动机起动器以及螺线管。带可编程常开/常闭输出的接近开关具有两个 LED 指示灯:一个是电源 LED 指示灯,当设备通电时灯亮;另一个是输出 LED 指示灯,当开关输出电流时指示灯亮。

### 10.11.2 固态开关

固态应用程序所用的开关直接与可编程控制器、硬接线逻辑电路、固态逻辑电路以及类似的高阻抗负载相连接。另外,它们有针对线路过载与短路情况的线路保护。在带有常开固定输出的开关中,当有金属物体进入检测范围且负载通电时,LED 指示灯会变亮。

自包含接近开关既有正面感应式也有顶部感应式的类型。正面感应式可用于感受 4 个方向中的任意一个:前面、后面或两侧。这些开关含有导线管连接器、螺纹导管开孔、预连线插座或者预连线的电缆基座。

### 10.11.3 圆柱形感应接近开关

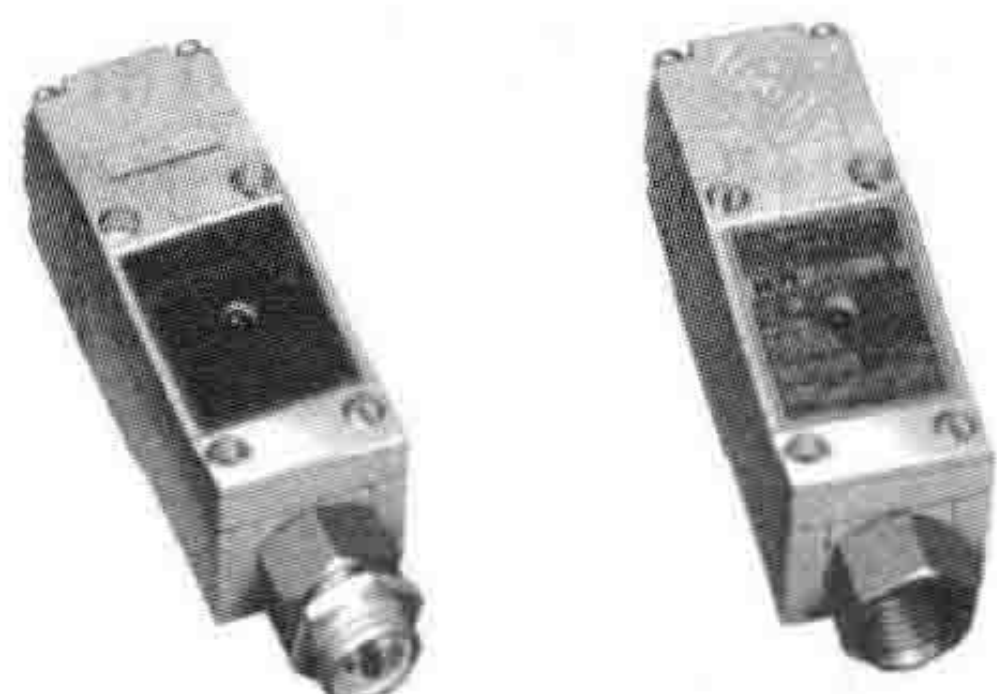
圆柱形感应接近开关是自包含的固态开关(见图 10-18),它们是为如下工业环境所设计的:在一些地方,需要不接触物体即可检测是否存在黑色及有色金属。开关装有一个红色的 LED 来指示在检测范围内目标存在(配置为常开输出)还是不存在(配置为常闭输出)。

这一类的开关与可编程控制器输入模块直接连接,不必使用外部负载阻抗。它们也可用于接通继电器、接触器与电动机起动器。开关外壳由镀镍的黄铜制成。电子电路被封装起来,保护其免受到电击、振动以及污染。

### 10.11.4 宽范围感应接近开关

宽范围感应接近开关也是自包含的固态开关(见图 10-19)。它用于工业上,如搬运材料(转运线、滚动带传送机等)。物体在这些传送线上的位置不可能一直被精确控制,因此需要检测延伸距离。这一类的开关不使用负载阻抗,与可编程控制器输入模块可直接连接。





a) 顶部传感      b) 正面传感

图 10-17 自包含接近开关 (Allen-Bradley 产品)

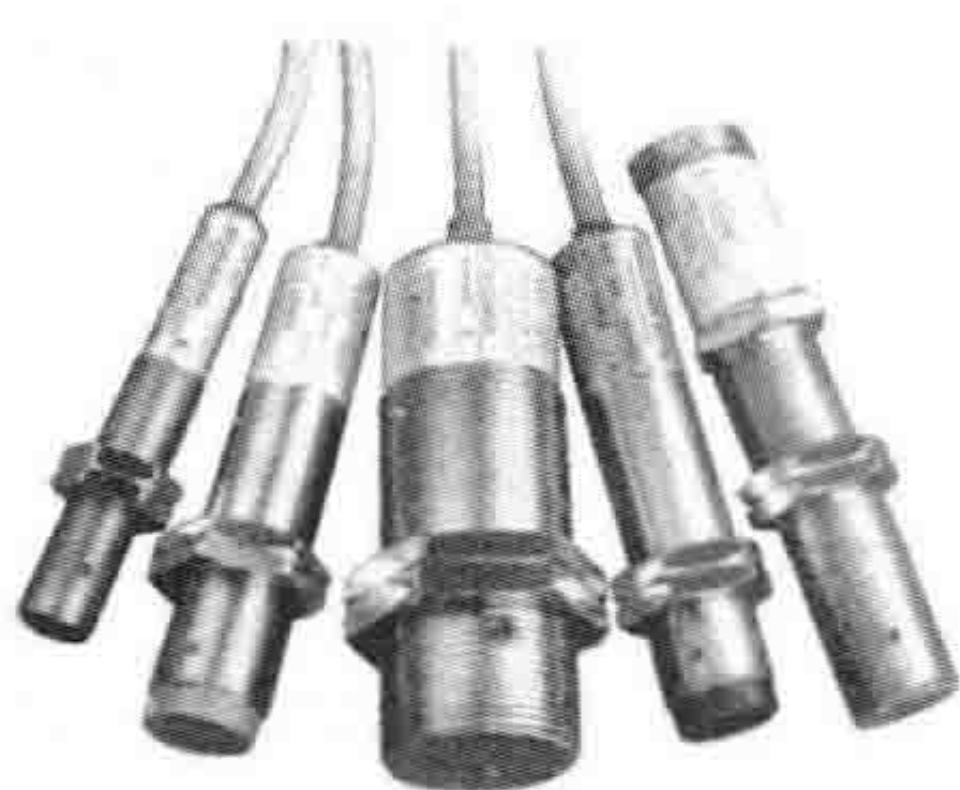


图 10-18 圆柱形感应接近开关 (Allen-Bradley 产品)



图 10-19 宽范围感应接近开关 (Allen-Bradley 产品)

10.11.5 紧凑型感应接近开关

紧凑型感应接近开关是方形的，可与个人计算机兼容，有 15mm 的感应范围（见图 10-20）。这种开关是一种双线装置，当检测到目标金属时会给外部负载通电或断电。

10.11.6 自包含薄型接近开关

自包含薄型接近开关与计算机一同使用，用来检测金属物体是否存在（见图 10-21）。这类开关分为两种类型：焊接专业型与通用型。焊接专业型具有内置的对电磁场的耐受能力，这个电磁场是由阻抗焊接设备产生的。焊接专业型可安装在每英寸 20 000A 载流量的母线上。

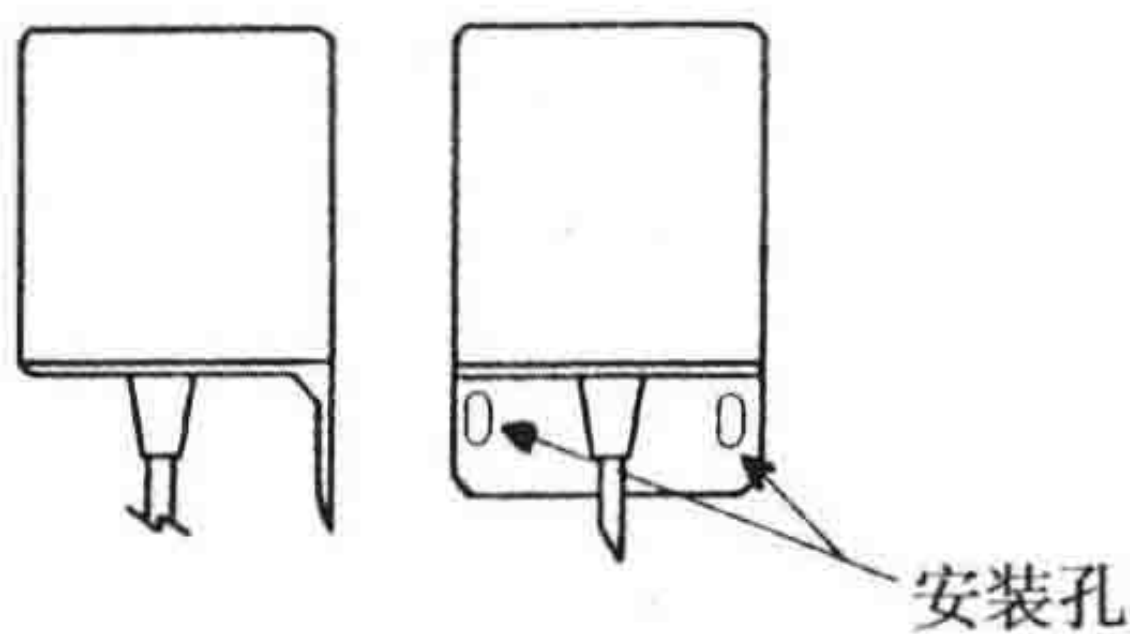


图 10-20 紧凑型感应接近开关 (Allen-Bradley 产品)

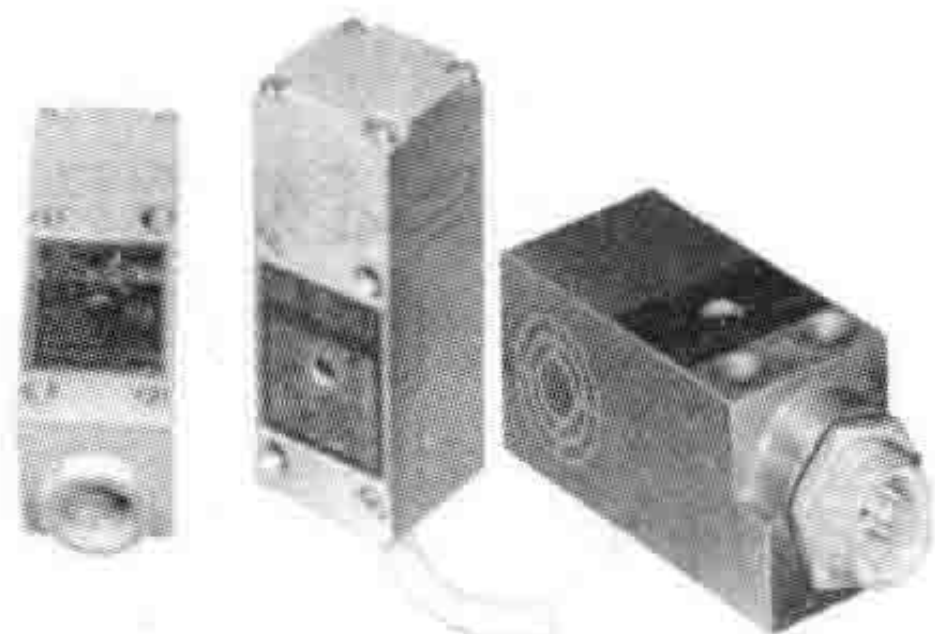


图 10-21 自包含薄型接近开关 (Allen-Bradley 产品)

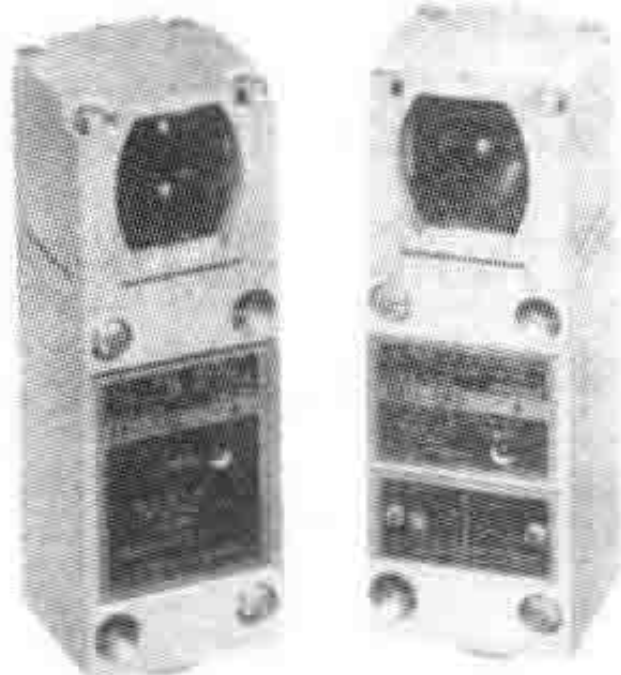
10.12 光电开关

工业上的光电开关是自包含型的，它的部分器件是固态电子元器件（见图 10-22）。工业型光电开关不接触物体，就能够检测到它们是否存在。

图 10-22 所示的开关使用了可调的红外线 LED 光源检测系统。它在电磁光谱的近红外部分调节或者接收脉冲。光电开关对环境光线（包括太阳光）具有高耐受度。



a) RA型，使用了可调的红外线 LED光源与检测器



b) SAC型光源（左侧）与DA型检测器（右侧）



c) RL型带负载时工作范围为直流电 10~30V (Allen-Bradley 产品)

图 10-22 自包含的光电开关

10.12.1 工作原理

光电开关是一个回归反射型设备，带负载时工作范围为直流 10~30V，它可以按照电流



转换器或电源模式进行接线，用于激励各种负载。对于 3in 的反射镜，其工作范围为 18in。其他类型的开关利用了透射式的光电系统。额定工作电压为交流 120V 的透射型设备尤其适合要求苛刻的，最大范围为 25ft 的应用场合。光电开关可用于操作继电器、接触器以及电动机起动器，并且可直接与大多数可编程控制器连接。利用嵌入式摇杆开关，在亮与暗之间进行编程可确定输出条件。一个可旋转的传感器探头可在 4 个方向的任意一个方向上进行检测。

10.12.2 特征

任何检测操作或检测系统都需要具有可靠性这一特征。确保光电开关正确操作的一个方法就是使用一个稳定性指示器。一些光电开关带有一个绿色的 LED，用于指示系统性能的可靠性。若 LED 指示不稳定，这意味着接收器的光强度在开关跳闸点数值的  $\pm 20\%$  以内，这会导致开关临界动作（见图 10-23）。引起指示灯这样变化的常见情况包括以下几种情况：

- 1. 敏感度调整量设置得太低。
- 2. 开关未对准，尤其当检测到发射器发出的是光晕而不是光线时（见图 10-23）。
- 3. 目标或反射镜位置离开开关太远。
- 4. 镜头或反射镜上累积了尘土或其他残余物。
- 5. 目标不够大，不能将光束全部遮挡上。
- 6. 目标与背景的对比度不足（在散射应用场合）。

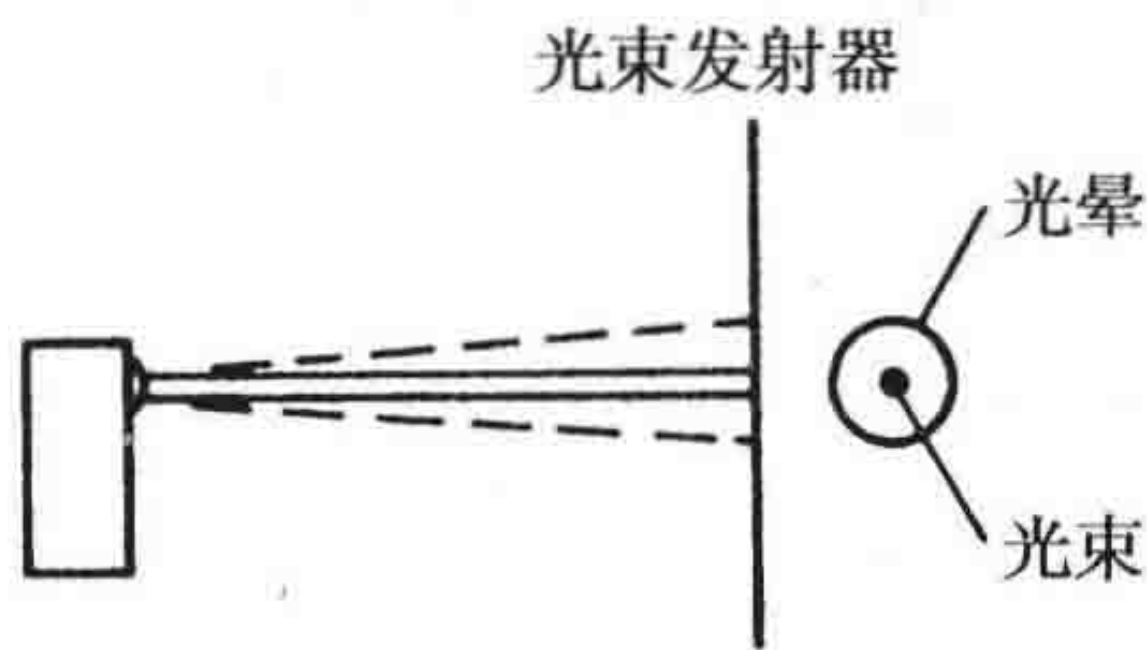


图 10-23 光线发射器 (LED)  
(Square D 产品)

如果这样设置再加上使用不带稳定指示器的光电开关系统，可能会导致系统过早地出现故障。故障模式包括不稳定的跳闸或无开关响应。

图 10-24 显示了光电开关可选择的亮 / 暗操作。只有回归反射型装置才有偏光镜片。带偏光镜片的光电开关只检测回归反射镜反射的光信号。光电开关不接收任何从某些目标反射的非预期光线，如金属、镜面、瓷砖、热缩塑料包以及光滑的塑料。

亮/暗操作的定义			
	对射型	回归反射型	散射型
暗操作 ——当光线没有射入接收器时，输出受到激励			
亮操作 ——当光线射到接收器时，输出受到激励			

图 10-24 可选择的亮 / 暗操作 (Square D 产品)

10.12.3 光电光源

总体来说，这种类型的开关发射器是白炽灯或者 LED 光源。与白炽灯相比，LED 光源具有许多优点。比如：

- 使用寿命长
- 几乎不散热
- 对于冲击和振动有抵抗能力
- 更大的检测范围
- 成本效益高
- 高频时可以被施加脉冲



被施加脉冲的 LED 光束会形成一个更强的光束，具有更大的检测范围。通过调整脉冲频率，发射器成为光接收器的关键，这会帮助消除环境光干扰的问题。

LED 可在 4 个基本色带中应用：红外线、红色、绿色以及黄色。除了黄色以外的所有色带都可以当作光电开关的发射器来使用。在这 3 种色带中，绝大多数的光电开关中使用红外 LED 发射器。红外线在穿透尘土、烟雾以及其他大气悬浮粒子方面性能出色，这些大气悬浮粒子可能影响光束的传播。

红光 LED 发射器可在使用塑料光纤电缆的纤维光学单元以及带偏光镜片的回归反射单元中使用。色标传感器用的是红光 LED 发射器或绿光 LED 发射器。

10.12.4 色标传感器

选择带合适色彩的 LED 发射器的色标传感器取决于标记的颜色及其背景颜色。确定一个色标传感器是否满足以下条件，表 10-2 所示的内容是一个不错的指导：

- 需要一个绿光或红光的 LED 发射器
- 在亮操作与暗操作模式下运行稳定

表 10-2 色标传感器指导<sup>①</sup>

背景颜色	LED 发射器的颜色	标记的颜色						
		白	黑	透明	红	黄	绿	蓝
白	绿	—	●	●	●	—	▲	●
	红	—	☉	●	—	—	●	●
黑	绿	■	—	—	—	■	■	—
	红	■	—	—	■	■	—	—
透明	绿	■	—	—	—	■	■	—
	红	■	—	—	■	■	—	—
红	绿	■	—	—	—	■	■	●
	红	■	☉	●	—	—	●	●
黄	绿	■	☉	●	▲	—	—	●
	红	—	☉	●	—	—	■	●
绿	绿	◆	●	●	●	—	—	▲
	红	■	—	—	■	◆	—	—
蓝	绿	■	—	—	■	■	◆	—
	红	■	—	—	■	■	—	—

①在暗操作模式：●表示稳定地检测色标；▲表示可能检测到色标。  
在亮操作模式：■表示稳定地检测色标；◆表示可能检测到色标。

色标传感器（散射环境下）能够检测大多数材料上的色标，这些材料可以是不透明的材料也可以是透明的材料（包括薄膜）。它们有绿光或红光的发射器 LED，能够在不同背景下检测多种色标。特殊的光学器件和调整透镜使得光学开关的焦点可以被精确设置。这一特点对于精确检测（有限能见度类型）或对检测距离的精确限定（视野开阔类型）是很有用处的。这一装置的特殊应用包括检测图 10-25 所示的物体。一个微型的特殊可聚焦散射开关如图 10-26 所示。



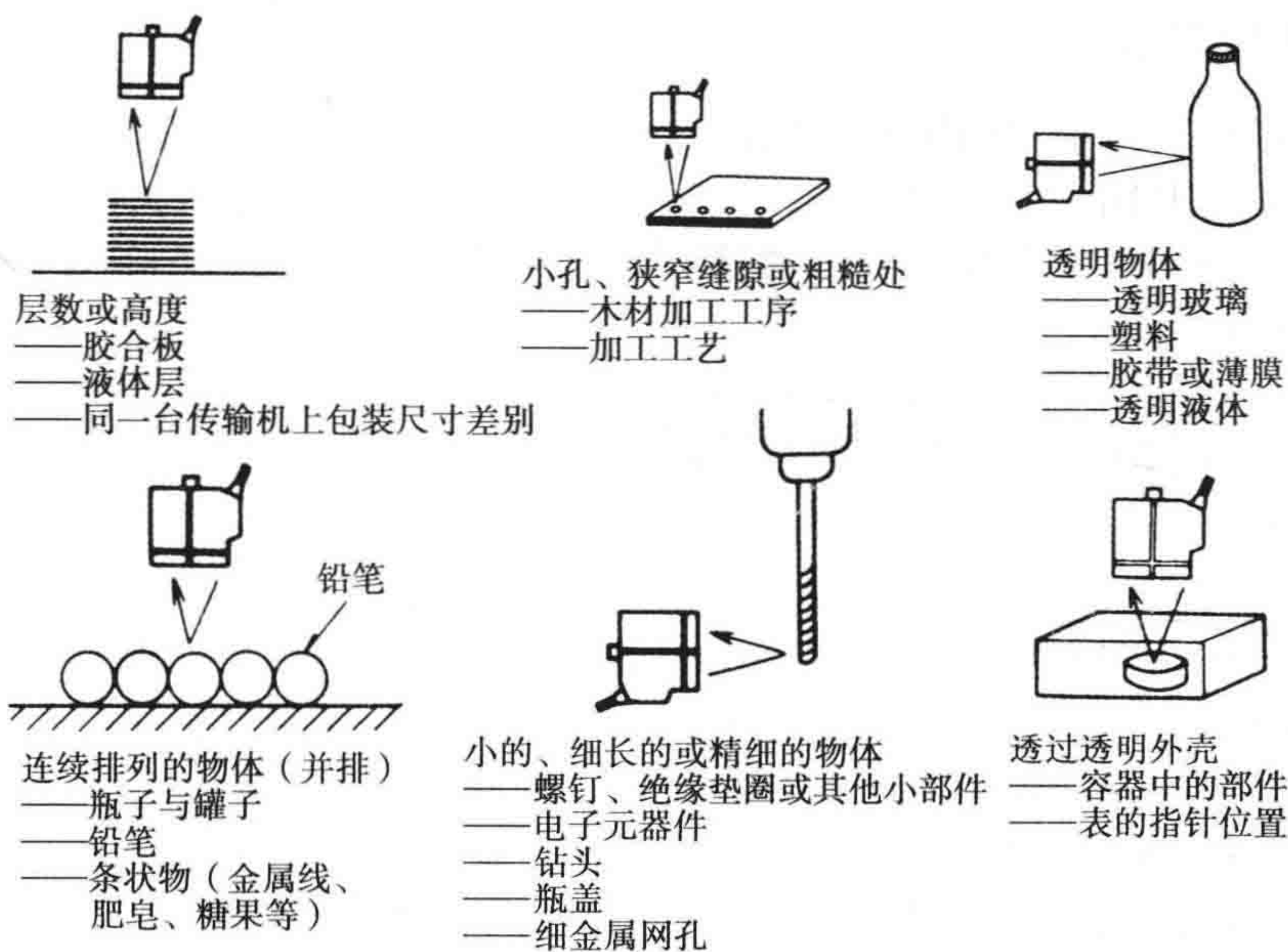


图 10-25 微型特殊光电开关 (Square D 产品)

10.12.5 透明材料检测

回归反射型光电开关十分适合对透明瓶子的检测。利用传统的回归反射型光电开关不可能实现对透明物质的稳定检测，现在在一个特别的光电系统使之成为可能。此类开关与这些常用的标准散射型光电开关相比，其 1m 的检测范围使系统更加灵活。

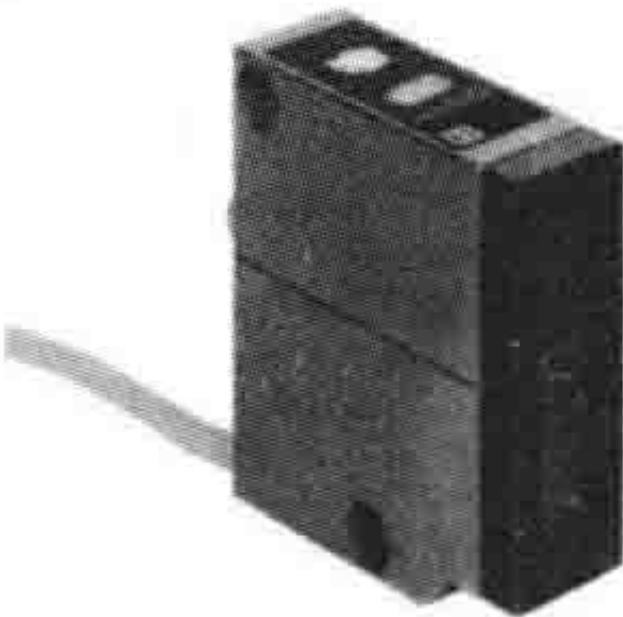


图 10-26 可聚焦散射开关 (Square D 产品)

10.13 开关的应用

图 10-27 给出了光电开关的典型应用。注意观察图 12-27 中开关的分类：散射型、镜面反射型、透射型以及回归反射型。检测范围是基于干净的透镜以及清洁的空气环境的。空气污染物与脏的透镜会影响开关的性能。

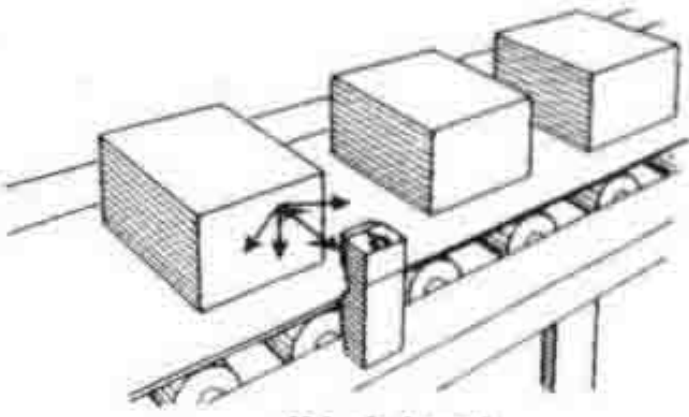
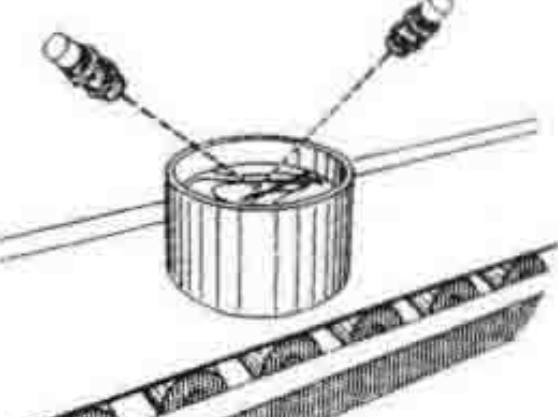
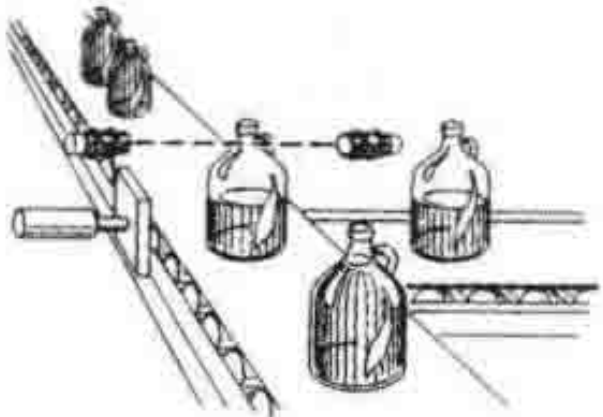
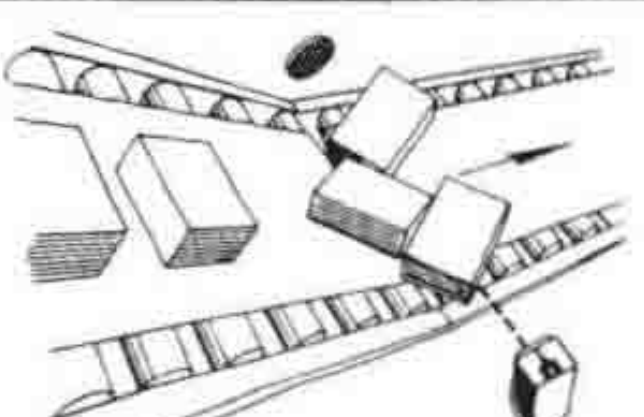
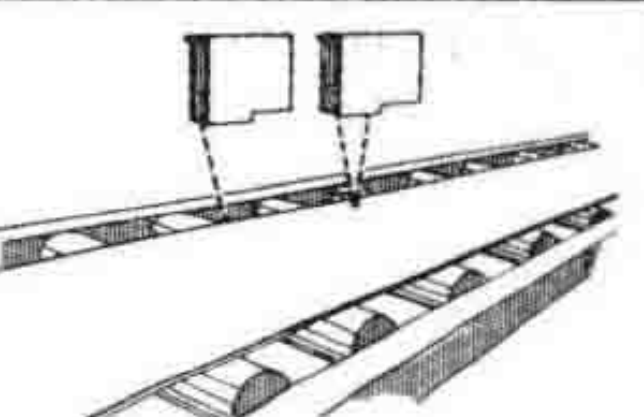
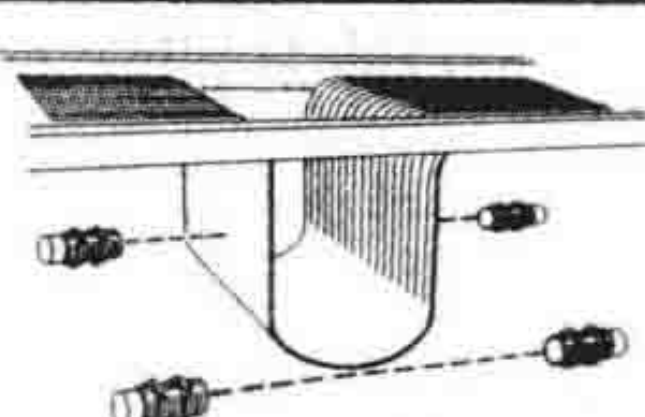
 <p><b>散射型</b> 应用：位置检测。可检测到传送带上任何方位的检测箱；可连接到计数装置上以提供总计数</p>	 <p><b>镜面反射型</b> 应用：液面控制。检测并控制容器中液面光滑的液体</p>	 <p><b>透射型</b> 应用：液面检测。确保所有瓶子都是满的。发出信号，丢弃低液面的瓶子</p>
 <p><b>回归反射型</b> 应用：拥堵控制。检测传送带上的拥堵情况；提供输出警报或停止传送带</p>	 <p><b>散射型</b> 应用：边缘控制。检测到传送带向一侧移动太远，驱动机械装置使皮带移回中央</p>	 <p><b>透射型</b> 应用：环或网的控制。保持材料环路的位置在两套开关之间</p>

图 10-27 光电开关的典型应用 (Square D 产品)



10.14 自动识别

自动识别可使一个控制系统或操作处于监督之下，它可以给控制系统与数据库提供所需的信息。自动识别可给所有东西定位，并告诉你它将来的位置。现在已有通过测试的系统，可以跟踪生产过程中所有物体的轨迹。它们由射频（RF）识别系统、条形码读取器与解码器以及多路复用设备组成。

所有这些自动识别系统都包括硬件、软件以及网络通信。它们需要使用应用于特定系统中的传感器。识别装置在条形码系统中可提供数据的一些特征，当使用射频系统时可提供高达 2KB 的数据。

10.15 射频识别系统

图 10-28 所示为已设置好用于操作的 Allen-Bradley 射频（RF）系统。这个系统可追踪部件，并在生产过程中跟随它们，不需要撒纸追踪（译者注：一种撒纸追踪游戏），也不必考虑操作人员操作失误的影响。当数据通过天线时，它们就可由一个射频终端发射或接收。记住，当有更新的配置可以使用时，实际部件的形状可能会有所改变。

射频识别系统以无线电波为基础，可穿透塑料、木材以及多种工厂污染物，它可在多种工业环境中安装并操作。射频识别系统可向控制系统十分可靠地传输信息（见图 10-29）。注意系统由 3 部分硬件组成：射频天线、射频终端以及通用识别接口（UII）。

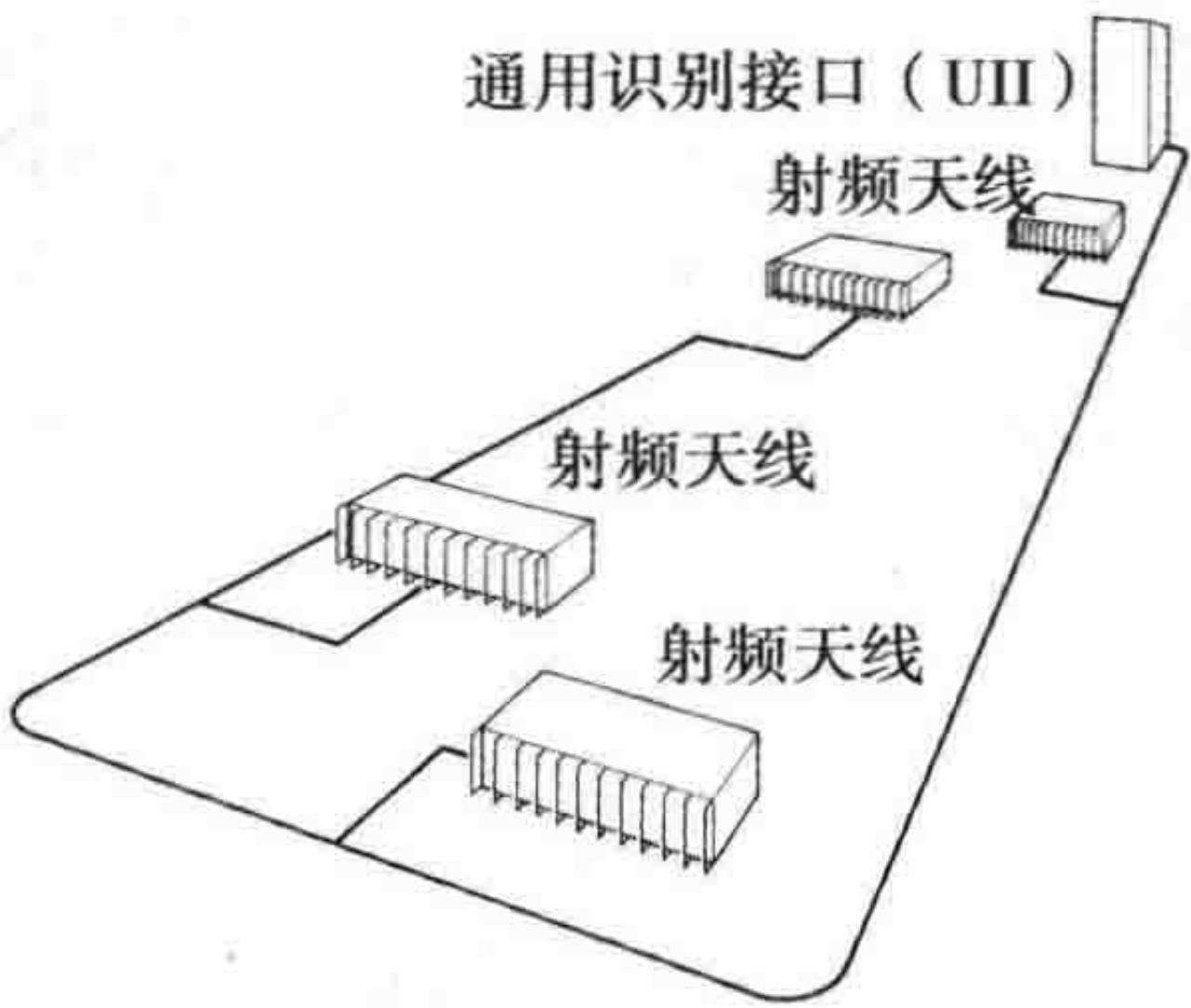


图 10-28 射频（RF）识别系统（Allen-Bradley 产品）

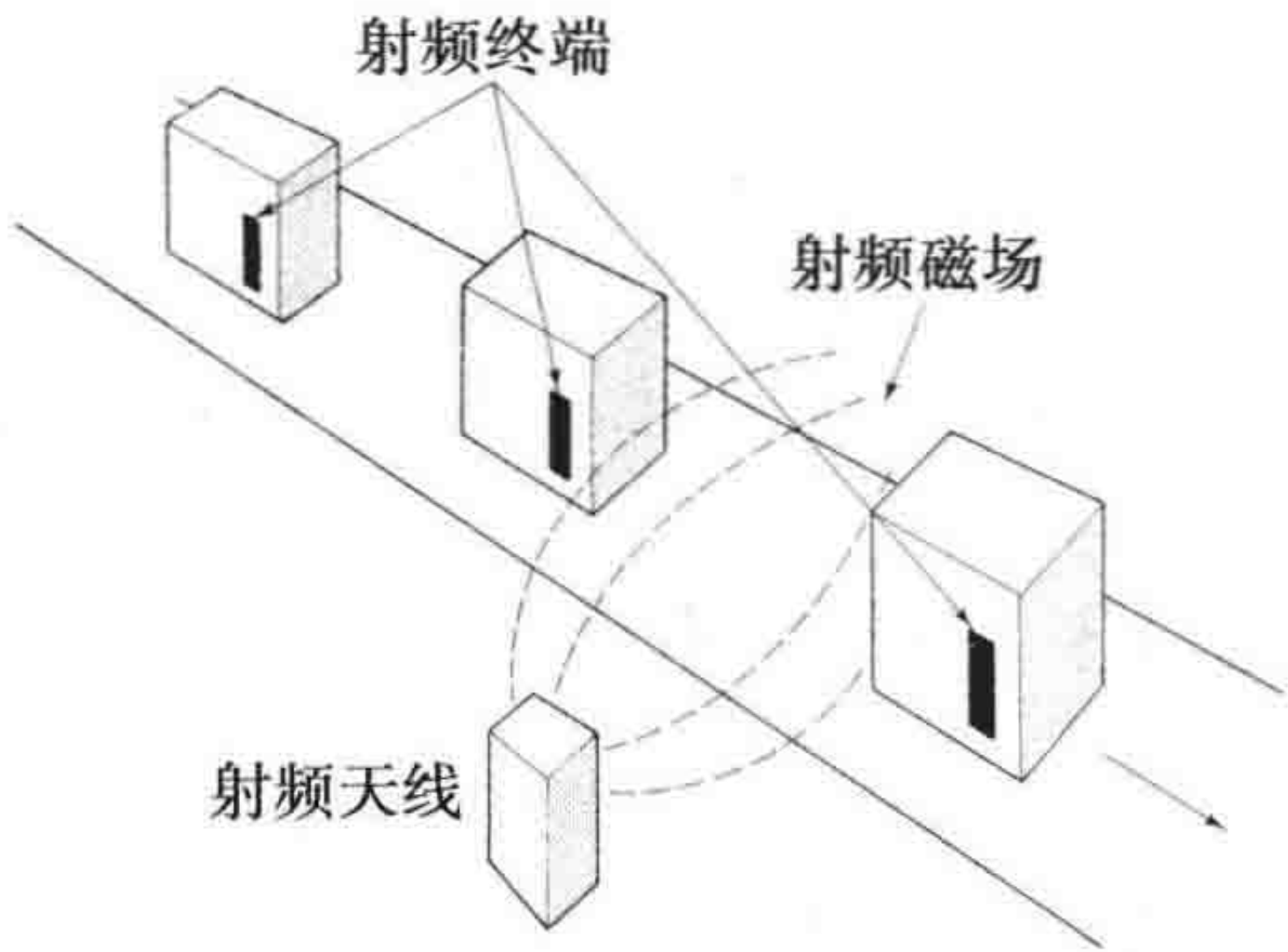


图 10-29 射频识别（Allen-Bradley 产品）

使用这种方法，就可能在生产与加工的所有阶段中只用一种产品识别方法。数据存储在读写射频终端上时，只要射频终端在天线覆盖区域内，就可对终端的信息进行增加、修改或者删除。

10.15.1 射频天线

射频天线包括发射天线与接收天线（见图 10-30a）。射频天线将终端中存储的数据解码，并将其传送给通用识别接口或主机，传到哪里取决于应用的控制结构。射频天线封装在铸铝的外壳中，可在车间或许多不同的工业环境中安装这种射频天线。

10.15.2 射频终端

有两种可用的射频终端：读写型与可编程型（见图 10-30b）。读写终端是一个用小型电池驱动的终端，可存储高达 2KB 的数据，能重复使用。

当射频终端进入射频天线的射频磁场时即被激活，此时就可从终端的内存中读取信息或



写入信息了（见图 10-30）。可编程射频终端尺寸小、结构坚固，用于工业应用场合中，而且可重复使用。终端可暴露在 180℃ 高温中长达一个小时，而不会损坏终端中存储的数据。无论何时终端进入到天线的射频磁场中，都可编程写入高达 40 字节的数据。



图 10-30 射频识别系统（Allen-Bradley 产品）

10.16 条形码读取器与解码器

条形码读取器可对数据提供高速写入，数据通过键盘输入，其速度与准确性是人力所不及的（图 10-31 所示为一个典型的条形码）。扫描设备既可以是固定式的也可以是便携式的。它们可以自动操作也可手动操作。Allen-Bradley 公司有多种扫描器可满足工业生产中的各种需求。

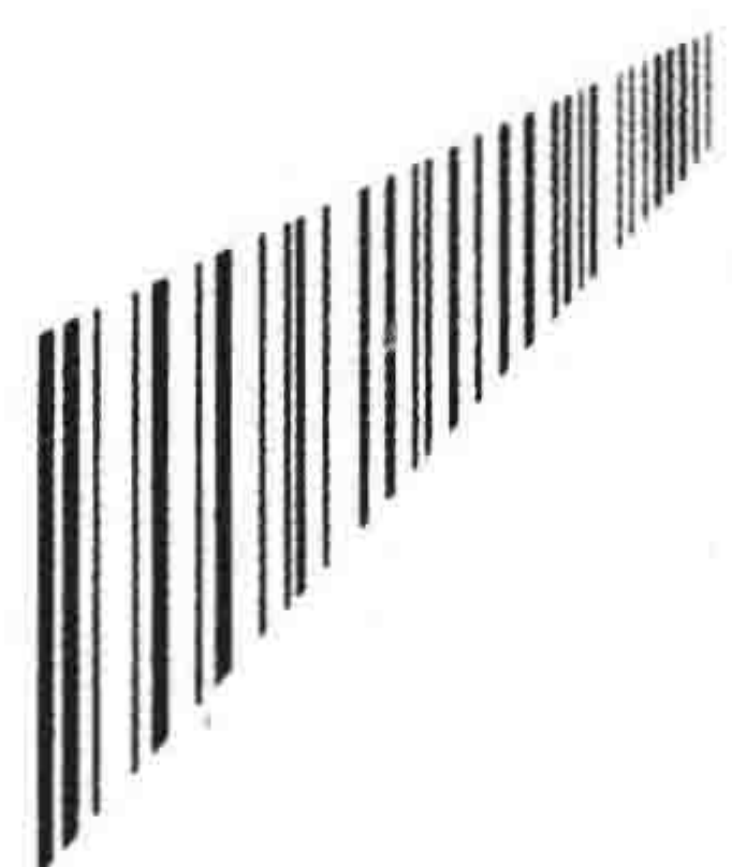


图 10-31 条形码（Allen-Bradley 产品）

10.16.1 手持型扫描器

条形码读取器（见图 10-32）从各种条形码扫描器中接受输入，能够提供高性能的解码能力以及对最流行可读条码的全自动识别。读取器的 RS-232 端口使得它可以与大多数计算机兼容。条形码读取器与扫描笔或移动光束式激光扫描器一起使用。激光扫描器（见图 10-32b）是一种非接触式装置，可在恶劣环境中工作。它掉落在混凝土地面也不会损坏，可继续工作。扫描速度是每秒 36 次。条形码距离扫描器 1~23in 范围内时都可被解码，这个距离取决于条形码的密集程度。



图 10-32 扫描器与读取器（Allen-Bradley 产品）

10.16.2 移动光束式扫描器

移动光束式扫描器工作时每秒扫描 175 次，可解码 20in 远的条形码，它的扫描器探头与解码器控制台是分开的（见图 10-32c），这样就可以安装在空间紧张的地方了。解码器可自动解码如下编码符号：Code39 码、交错式 2-of-5 码、UPC/EAN 码，以及 codabar 码。



10.17 多路复用技术

通用识别接口是自动识别控制中的一种新概念。利用一个通用识别接口可实现相当于 8 个传感器的多路传输（见图 10-33）。传感器使用的这种方式使可编程控制器以及机器人实现预期功能成为可能。

10.18 视觉系统

感知包括五官的感觉：触觉、知觉、嗅觉、味觉以及视觉。视觉系统利用了操作中所用到的物体的尺寸与形状。当然，理想的监督速度就是生产线的速度。利用视觉系统，对所有从生产线上掉落的产品都可以实现可视性监督。事实上，当每个产品经过一项操作逐渐完成时，都可以得到监督（见图 10-34）。

利用视频图像与计算机技术，可以通过模式识别技术来实现物体的识别、定位以及分类。这一系统提供了一种减少产品浪费、减少监督错误以及降低人工疲劳的方法。监督系统可每周 7 天、每天 24 小时工作，并且不会危及产品完整性。

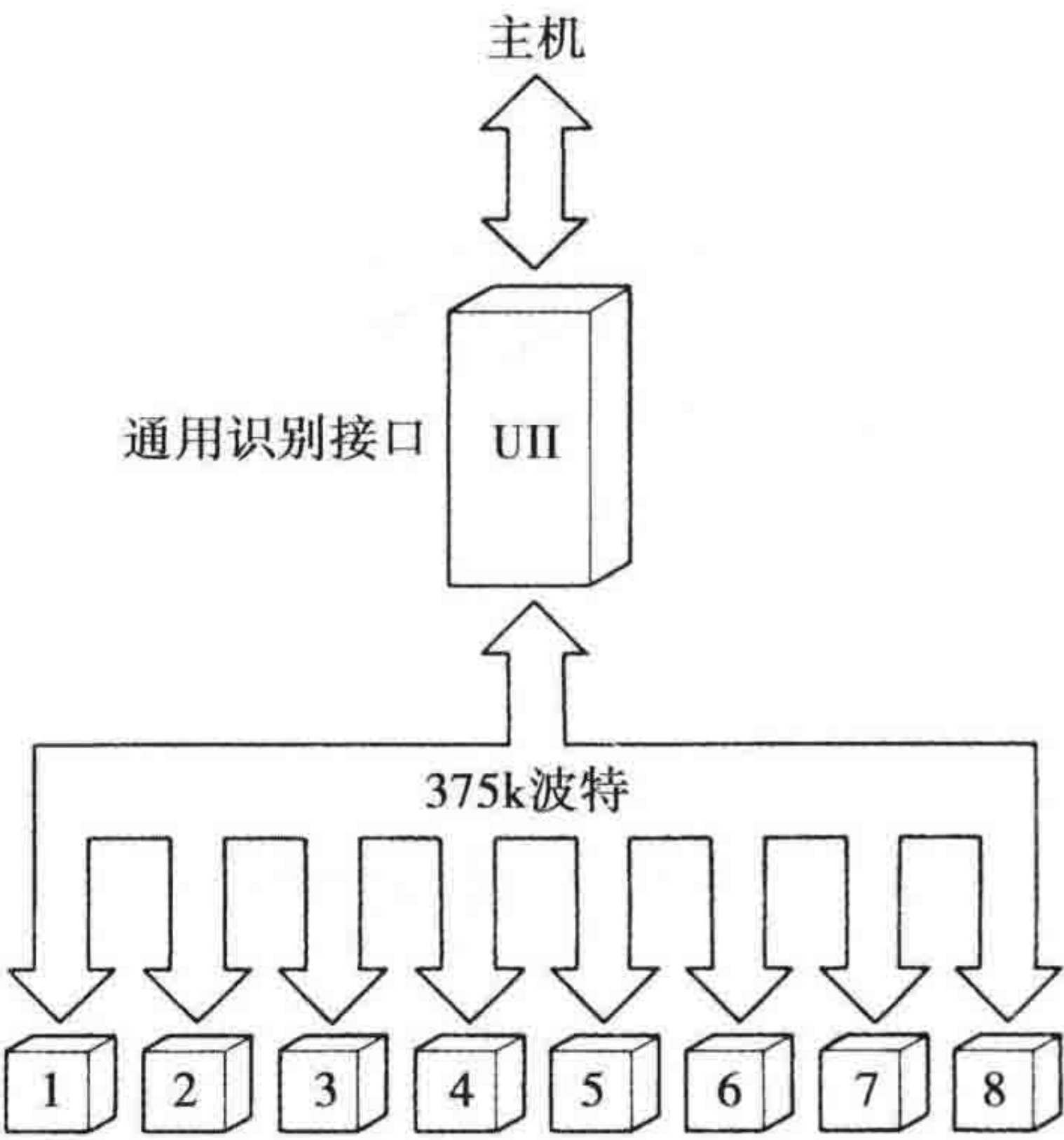


图 10-33 带通用识别接口的多路复用技术 (Allen-Bradley 产品)

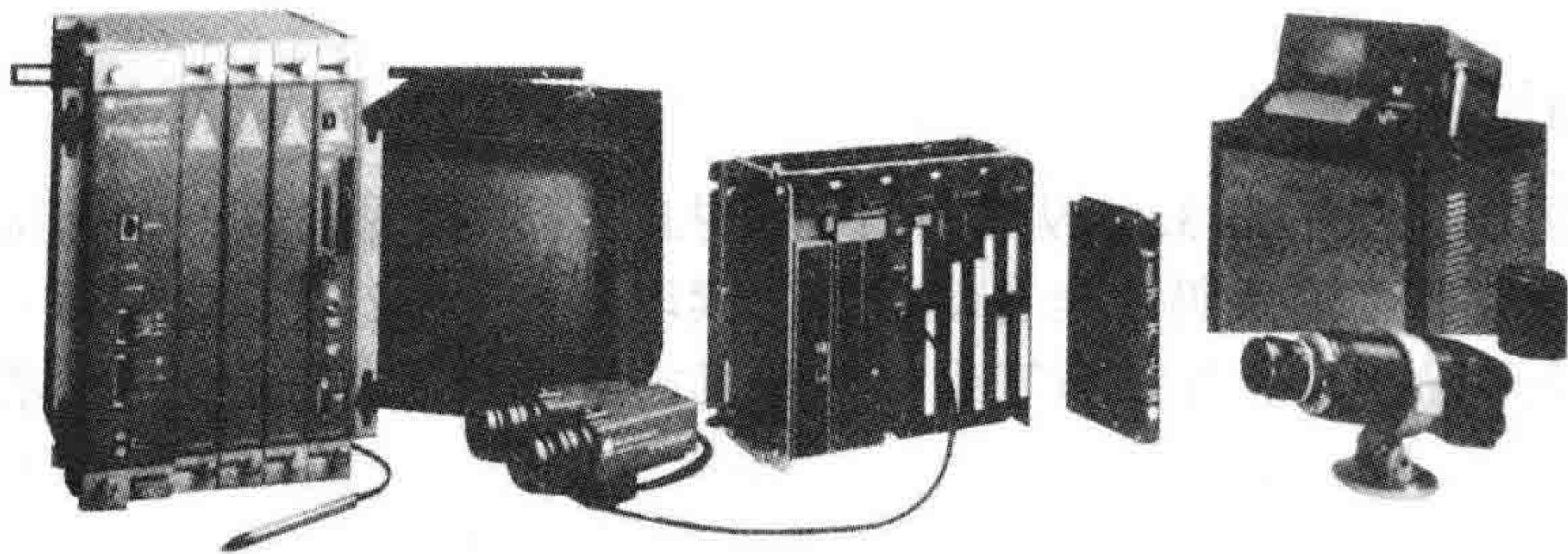


图 10-34 可编程视觉系统 (Allen-Bradley 产品)

10.19 思考题

1. 传感器如何分类？

2. 限位开关的另一个名称是什么？

3. 哪种类型的开关可对触点做出反应？

4. 哪种类型的开关可用于存在性检测？

5. 除了转速，转速开关还可检测什么？

6. 如何将压力控制装置调整到给定点？

7. 为何需要螺母套管与密封套？

8. 光电编码器是什么？

9. BCD 代表的含义是什么？

10. 多路复用技术是什么？

11. 接近开关用在什么地方？
12. 传感系统最需要的特征是什么？

13. 什么颜色的 LED 是可用的？

14. 组成射频识别系统的 3 部分硬件分别是什么？

15. UII 代表什么意思？

16. 在一个系统中，如何使用扫描器来检测并输入信息？

17. 哪一类的开关可用于防止反接制动？

18. LO 代表什么？

19. 格雷码是什么？

20. 在多路复用技术控制线上放置逻辑“0”有何作用？



## 第 11 章

# 螺线管与阀门

### 11.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 解释螺线管是如何产生机械运动的。
2. 识别不同类别的工业螺线管。
3. 列举出应用螺线管装置的设备。
4. 根据螺线管的类别选择螺线管。
5. 描述如何检修螺线管线圈。
6. 解释电路中电磁阀是如何工作的。

### 11.2 螺线管

螺线管是用于接通或断开电力、天然气、油或者水的设备。例如，在洗衣机中，可用螺线管接通热水，切断冷水，以得到合适温度的温水。电路中嵌入了一个温控器，用于控制热水螺线管。

螺线管的长度比直径要大，这是电工电子中最常见的线圈构造类型。铁心螺线管的中心位置处磁场强度最大，空心螺线管两端的磁场强度比中心处要小。

螺线管长度大于直径，其两端的磁场强度约为中心处的一半。如果螺线管有一个导磁性的铁心，那么磁力线会全部通过铁心。

螺线管的动作可以产生机械运动，或者螺线管由于机械运动可以产生电压。“螺线管”通常是指一个带有活动铁心的线圈，当线圈通电时，铁心可以沿线圈轴线方向向线圈中心移动。如果将一个具有导磁性的铁心恰当悬吊，并受到恰当的拉力作用，那么，通过给线圈通电，可将铁心移进或移出螺线管的线圈。这是某些继电器和一些其他机电装置的工作原理。当外力作用于铁心使其移动时，螺线管线圈中会感应出电压。

螺线管中的铁心有移动的趋势，因此铁心中围绕了最多的磁力线。每条磁力线的路径都是最短的（见图 11-1）。图 11-1 所示的铁心在螺线管外部。由于铁心是铁磁材料，所以在 N 极，线圈对磁力线表现出低阻磁路。这些磁力线在软铁心中汇聚，完成其围绕一圈的路径，回到电磁铁的 S 极。

通过铁心的磁力线会被铁心磁化，这是说铁心中感应磁场的 S 极靠近线圈的 N 极。由于异名磁极相互吸引，所以铁心被吸引进入螺线管线圈的孔洞中，这种吸引力有将铁心拉入线圈中的倾向。当铁心被吸入线圈中，磁场会变得越来越小。当铁心在线圈中自己调整到中心位置时，磁力线经过的距离可能最短。

可在铁心上连接一个弹簧，一旦线圈失电，铁心就可以返回到外部位置。然后当线



圈再次得电时，吸力会将铁心拉回线圈之中。工业螺线管正是利用了这种动作特点，完成了继电器和电动机起动器中的开关触点以及天然气、空气和各种液体管线中所用到的阀门操作。

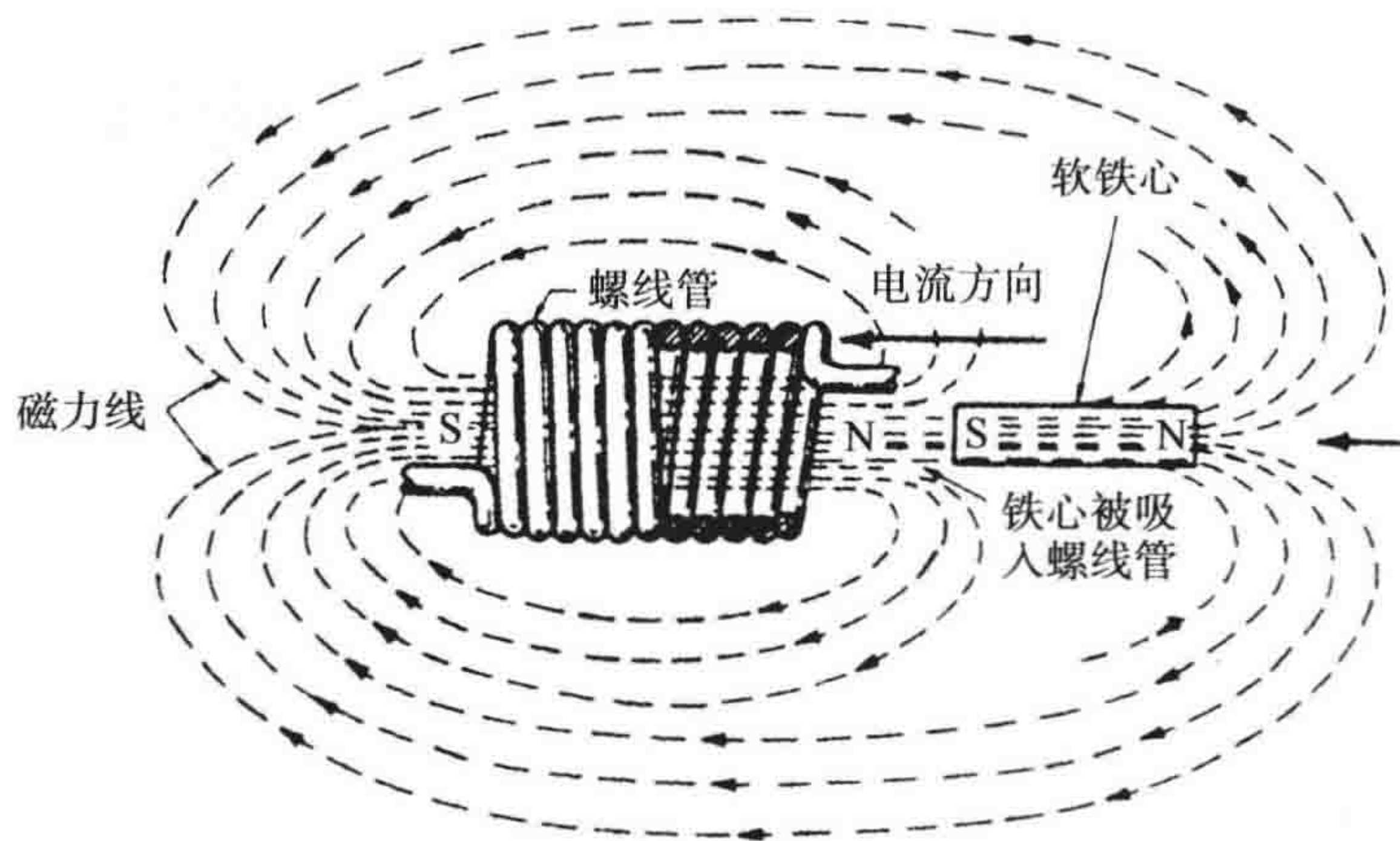


图 11-1 线圈的吸持效应（螺线管将铁心吸入线圈中）

## 11.3 工业螺线管

### 11.3.1 管式螺线管

螺线管用途广泛。图 11-2 所示为管式螺线管。请注意观察该螺线管的型号、额定电压、线圈电阻以及升程与冲程的最大最小值。一些螺线管是牵引式的，其他的是推进式的。它们可是特定的间歇式工作也可是连续工作的。

### 11.3.2 框架式螺线管

框架安装型螺线管（见图 11-3）可间歇也可连续工作，既可接交流电也可接直流电。11 型与 28 型既可在交流电又可在直流电下工作。其他类型的螺线管，可根据它们工作在交流电好还是直流电好来进行辨别。

## 11.4 应用

图 11-4 所示为在一个热风炉中用于控制天然气流量的螺线管。注意观察螺线管绕在活塞周围的方式，活塞就是螺线管的铁心。螺线管通过电流时会被激励，此时活塞有被吸入线圈的趋势。电磁效应使活塞向上吸引，进入螺线管区域。当电磁力将活塞向上拉动时，阀板也被向上拉动，使天然气可以通过阀门流动。这项基本技术用于控制水、油、汽油以及任何其他液体或气体。

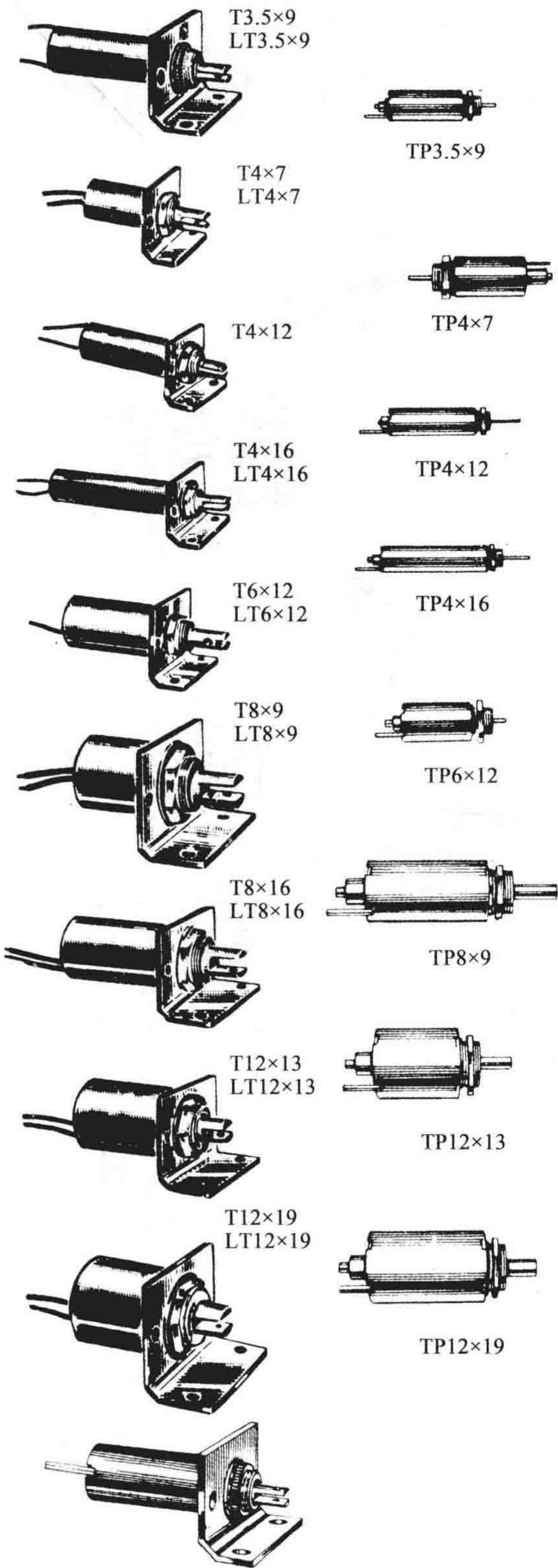
汽车起动器上的螺线管的工作过程与上述过程相似，不同之处是活塞在末端有电触头，它可以接通从电池到起动器的电路。螺线管用低压（12V）与小电流来激励线圈，进而线圈将活塞吸到上面来，然后，带重型铜垫圈的活塞接触重负载触头。重负载触头被设计得能够承受 300A 的电流，这是电动机冷起动所需的。按照这种方式，使用低电压小电流可远程控制低电压大电流。



T表示牵引型，TP表示推进型，LT表示使用寿命长的牵引型

T、TP以及LT系列螺线管

T和TP系列是经过UL认证的  
工作方式：i为间歇型，C为连续型

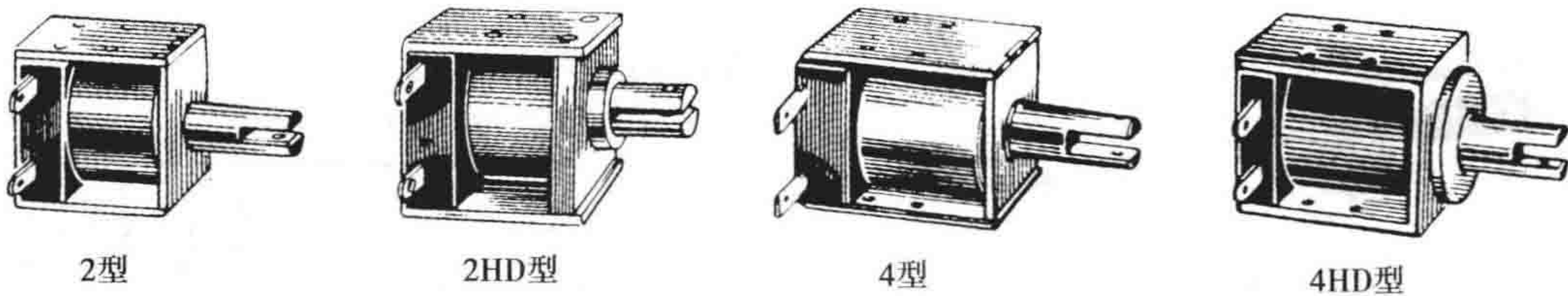


类型	工作电压 (V)	线圈阻抗 (Ω)	升降与行程			
			最大值		最小值	
			oz.	@in	oz.	@in
T3.5X9	C-12D	60.2	4 1/2	1/32	.3	9/16
	I-12D	31.1	7	1/32	.7	1/2
	I-24D	122	7	1/32	.7	1/2
	C-24D	254	4 1/2	1/32	.3	9/16
LT3.5X9	C-12D	52.4	2.5	1/32	.2	3/8
	C-24D	221	2.5	1/32	.2	3/8
TP3.5X9	I-24D	122	6	1/32	.5	1/2
	C-24D	254	4	1/32	.3	9/16
T4X7	I-24D	131	7	1/32	1	1/4
	C-24D	270	5	1/32	.5	1/4
LT4X7	C-12D	63.3	2.5	1/32	1	.15
	C-24D	264	2.5	1/32	1	.15
TP4X7	I-24D	131	6.5	1/32	.75	.15
	C-24D	270	3.5	1/32	.50	1.5
T4X16	C-12D	45.1	4.5	1/16	1.2	1/2
	I-12D	17.7	7	1/16	2.5	1
	C-24D	173	4.5	1/16	1.2	1/2
	I-24D	72.7	7	1/16	2.5	1
LT4X16	C-12D	42.5	4	1/16	2	1/2
	I-12D	14	8	1/16	2.5	1/2
	C-24D	168	4	1/16	2	1/2
	I-24D	69.1	8	1/16	2.5	1/2
TP4X16	C-24D	173	3.8	1/16	1	1/2
	I-24D	72.7	5.5	1/16	2	1/2
T4X12	C-24D	195	6	1/32	1.5	.15
	I-24D	96.7	9	1/32	2	.15
LT4X12	C-12D	49.3	7.5	1/32	.5	1/2
	C-24D	19.2	7.5	1/32	.5	1/2
TP4X12	I-24D	96.7	7	1/32	1.5	.15
	C-24D	195	5	1/32	1.0	.15
T6X12	C-12D	31.7	15	1/16	1	3/4
	I-12D	12.1	23	1/16	3	3/4
	C-24D	121	15	1/16	1	3/4
	I-24D	60.6	23	1/16	3	3/4
LT6X12	C-12D	35	18	1/16	1	1/8
	I-12D	13.8	35	1/16	2.5	1/2
	C-24D	138	18	1/16	1	1/2
TP6X12	C-24D	121	12	1/16	.8	3/4
	I-24D	60.6	18	1/16	2.5	3/4
T8X9	C-24D	135	18	1/16	2.5	7/16
	I-24D	44	45	1/16	5	7/16
LT8X9	C-24D	109	18	1/16	1	1/2
	I-24D	44.6	35	1/16	3	1/2
TP8X9	I-24D	44	36	1/16	4	7/16
	C-24D	135	14	1/16	2	7/16
T8X16	I-12D	9.3	58	1/16	5	.60
	C-12D	28.3	30	1/16	2.5	.60
	I-24D	36.1	58	1/16	5	.60
	C-24D	110	30	1/16	2.5	.60
LT8X16	I-12D	6.2	67	1/16	12	1/2
	C-12D	19.3	33	1/16	2.5	1/2
	I-24D	29.7	62	1/16	10	1/2
	C-24D	77.2	33	1/16	2.5	1/2
T12X13	I-24D	28.4	100	1/8	15	.60
	C-24D	90.4	40	1/8	5	.60
LT12X13	I-12D	5.9	110	1/8	10	.5
	C-12D	18.3	35	1/8	1	.5
	I-24D	22	110	1/8	10	.5
	C-24D	71.2	35	1/8	1	.5
TP12X13	I-24D	28.4	80	1/8	12	.60
	C-24D	90.4	32	1/8	4	.60
T12X19	I-24D	22.1	130	1/8	40	3/4
	C-24D	68	70	1/8	10	3/4
LT12X19	I-12D	4.66	130	1/8	15	3/4
	C-12D	14.8	70	1/8	5	3/4
	I-24D	18.6	130	1/8	15	3/4
	C-24D	71.8	70	1/8	3	3/4
TP12X19	I-24D	22.1	100	1/8	30	3/4
	C-24D	68	55	1/8	8	3/4

1oz=28.3495g

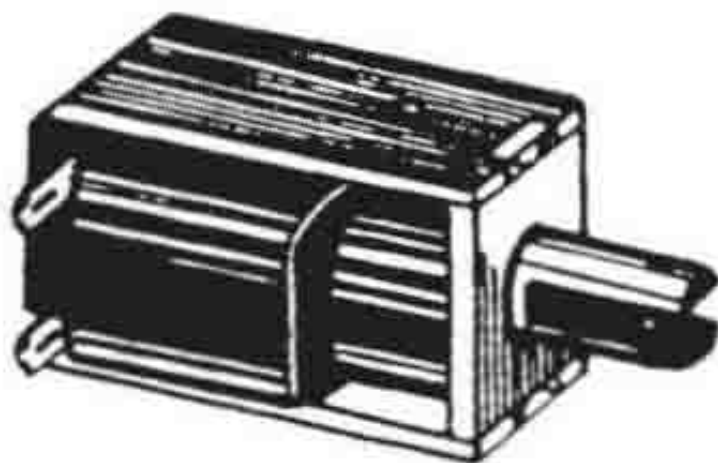
图 11-2 管式螺线管



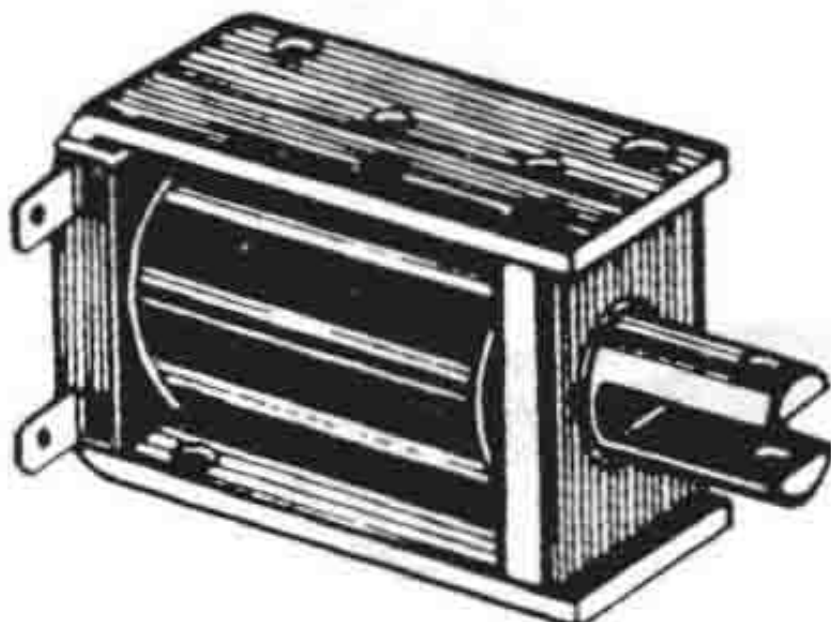


直流电压模式下的螺线管

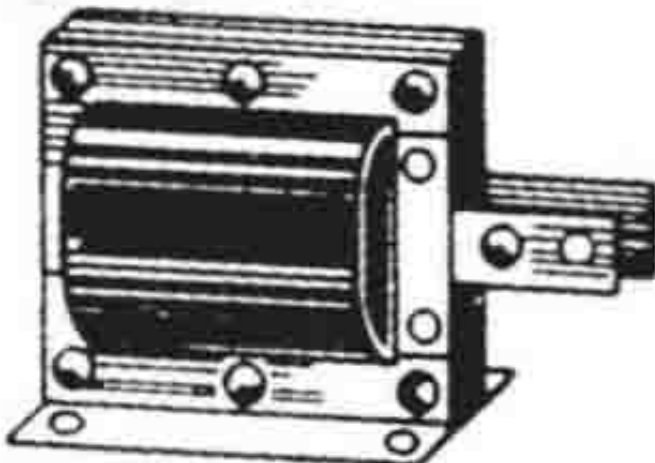
类型	工作方式	工作电压 (V)	电阻 (Ω)	冲程 (oz@in)	
				最小值	最大值
2HD	间 歇	24	22.6	96@1/8"	15@1/2"
2HD	连 续	24	71	48@1/8"	5@1/2"
4	间 歇	24	15.8	100@1/8"	20@1"
4	连 续	24	61.3	60@1/8"	7@1/2"
4	间 歇	110	296	100@1/8"	20@1"
4	连 续	110	1215	60@1/8"	7@1/2"
4HD	间 歇	24	18.9	130@1/8"	25@3/4"
4HD	连 续	24	57.5	80@1/8"	5@3/4"
4HD	间 歇	110	354	130@1/8"	25@3/4"
4HD	连 续	110	1140	80@1/8"	5@3/4"
11	间 歇	6	1.88	45@1/8"	10@1/2"
11	连 续	6	4.69	30@1/8"	4@1/2"
11	间 歇	24	29.1	45@1/8"	10@1/2"
11	连 续	24	93.1	30@1/8"	4@1/2"
11HD	间 歇	24	29.3	70@1/8"	5@3/4"
11HD	连 续	24	76.3	30@1/8"	2@3/4"
11P	连 续	24	93.1	24@1/8"	3.2@1/2"
22	间 歇	6	5.8	17@1/16"	2@0.3"
22	连 续	6	11.5	11@1/16"	1@0.3"
22	间 歇	24	93.2	17@1/16"	2@0.3"
22	连 续	24	182	11@1/16"	1@0.3"
28	间 歇	6	3.03	40@1/16"	3@1/2"
28	连 续	6	7.5	23@1/16"	2@1/2"
28	间 歇	12	11.9	40@1/16"	3@1/2"
28	连 续	12	29.8	23@1/16"	2@1/2"
28	间 歇	24	47.4	40@1/16"	3@1/2"
28	连 续	24	116	23@1/16"	2@1/2"



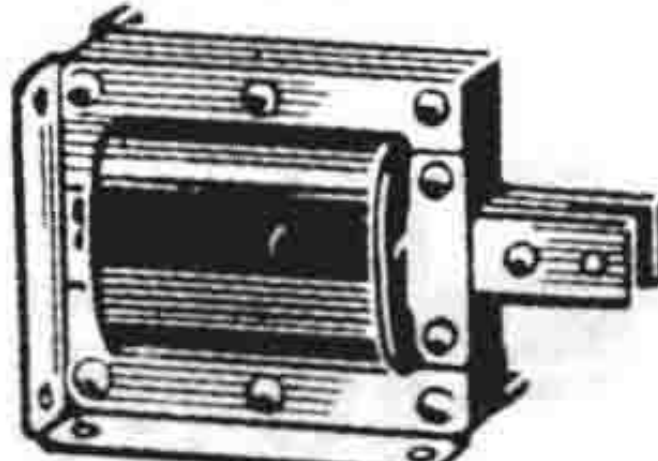
11型



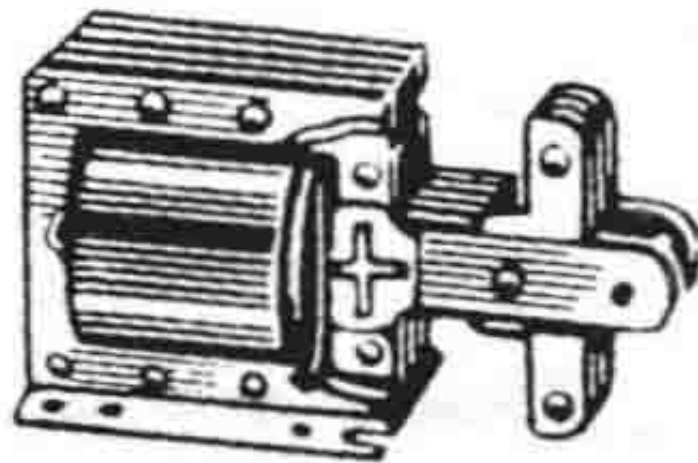
11HD型



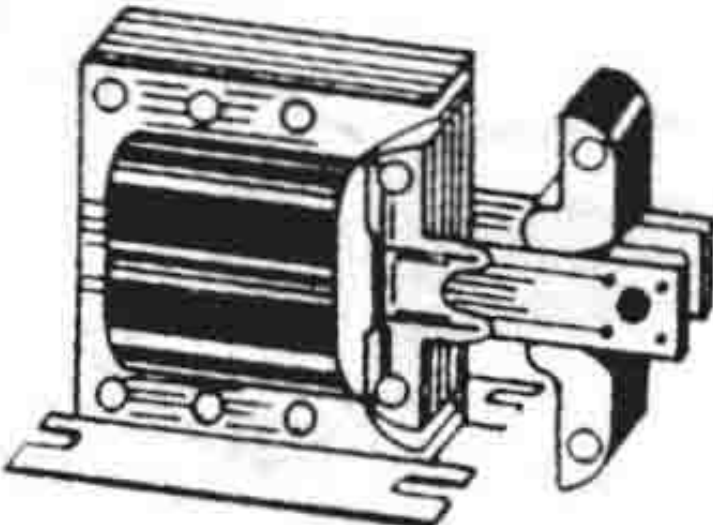
12型



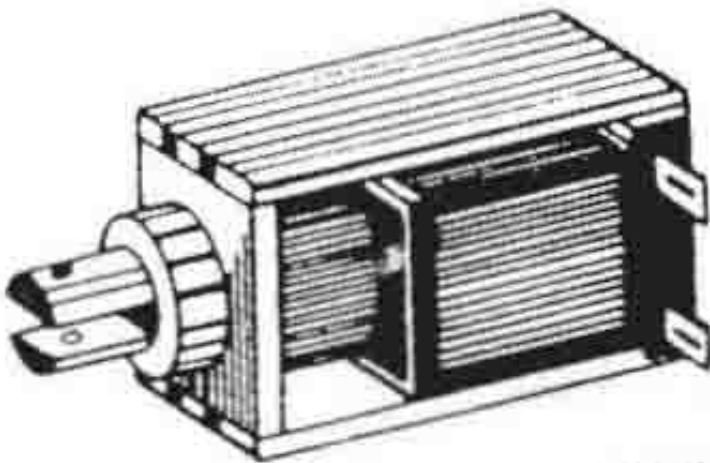
14型



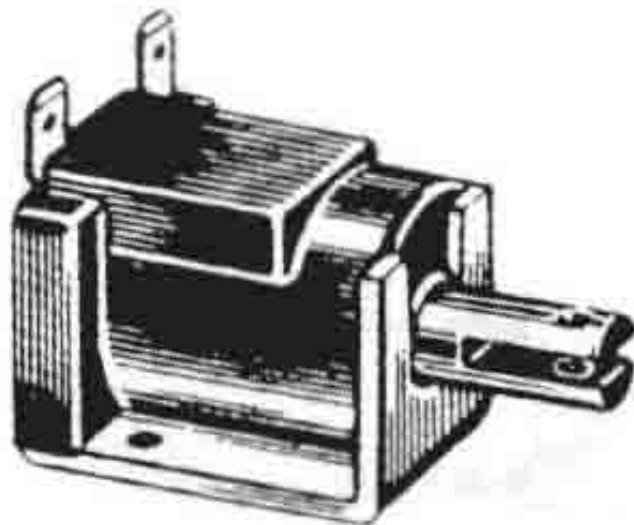
16型



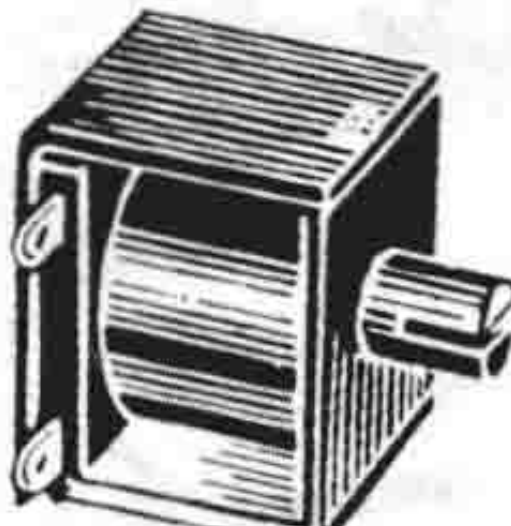
18型



22型



24型



28型

交流电压模式下的螺线管

2	间 歇	120	60	45@1/8"	11@7/8"
2	连 续	120	166	14@1/8"	3@7/8"
2HD	间 歇	120	36	70@1/8"	16@3/4"
2HD	连 续	120	113	25@1/8"	6@3/4"
4	间 歇	120	37	36@1/8"	26@1"
4	连 续	120	133	8@1/8"	7@1"
11	间 歇	120	85	21@1/8"	11@3/4"
11	连 续	120	200	12@1/8"	6@3/4"
11HD	连 续	120	165	12@1/8"	3 1/2@1"
11P	连 续	120	200	9.6@1/8"	4.8@3/4"
12	间 歇	120	100	48@1/8"	9@7/8"
12	连 续	120	150	28@1/8"	6@7/8"
14	间 歇	120	11	108@1/8"	56@1 1/2"
14	连 续	120	18	75@1/8"	40@1 1/2"
16	间 歇	120	41	110@1/8"	28@3/4"
16	连 续	120	85	63@1/8"	15@3/4"
16	连 续	240	350	63@1/8"	15@3/4"
16P	间 歇	120	41	88@1/8"	22.5@3/4"
16P	连 续	120	85	50.5@1/8"	12@3/4"
18	间 歇	120	8.8	350@1/8"	208@7/8"
18	连 续	120	19.7	152@1/8"	100@7/8"
18	间 歇	240	45	350@1/8"	208@7/8"
18	连 续	240	78	152@1/8"	100@7/8"
18P	间 歇	120	8.8	315@1/8"	187@7/8"
18P	连 续	120	19.7	137@1/8"	90@7/8"
24	连 续	120	500	10@1/16"	2@5/8"
28	连 续	24	17.4	24@1/16"	5@5/8"
28	连 续	120	400	24@1/16"	5@1/2"

\*所有型号都是经过UL认证的  
这些间歇式和连续式的螺线管都有交直流两种类型，并且其机壳有3种结构：箱式、U型和叠片式。2型、2HD、4、4HD、11、11HD、11P、22和28型是箱式，型号12、14、16、16P、18和18P是叠片式的；24是U型；后缀U为推进式，后缀HD适合重载工作条件。所有箱式型号均有快速连接端子

图 11-3 框架式螺线管



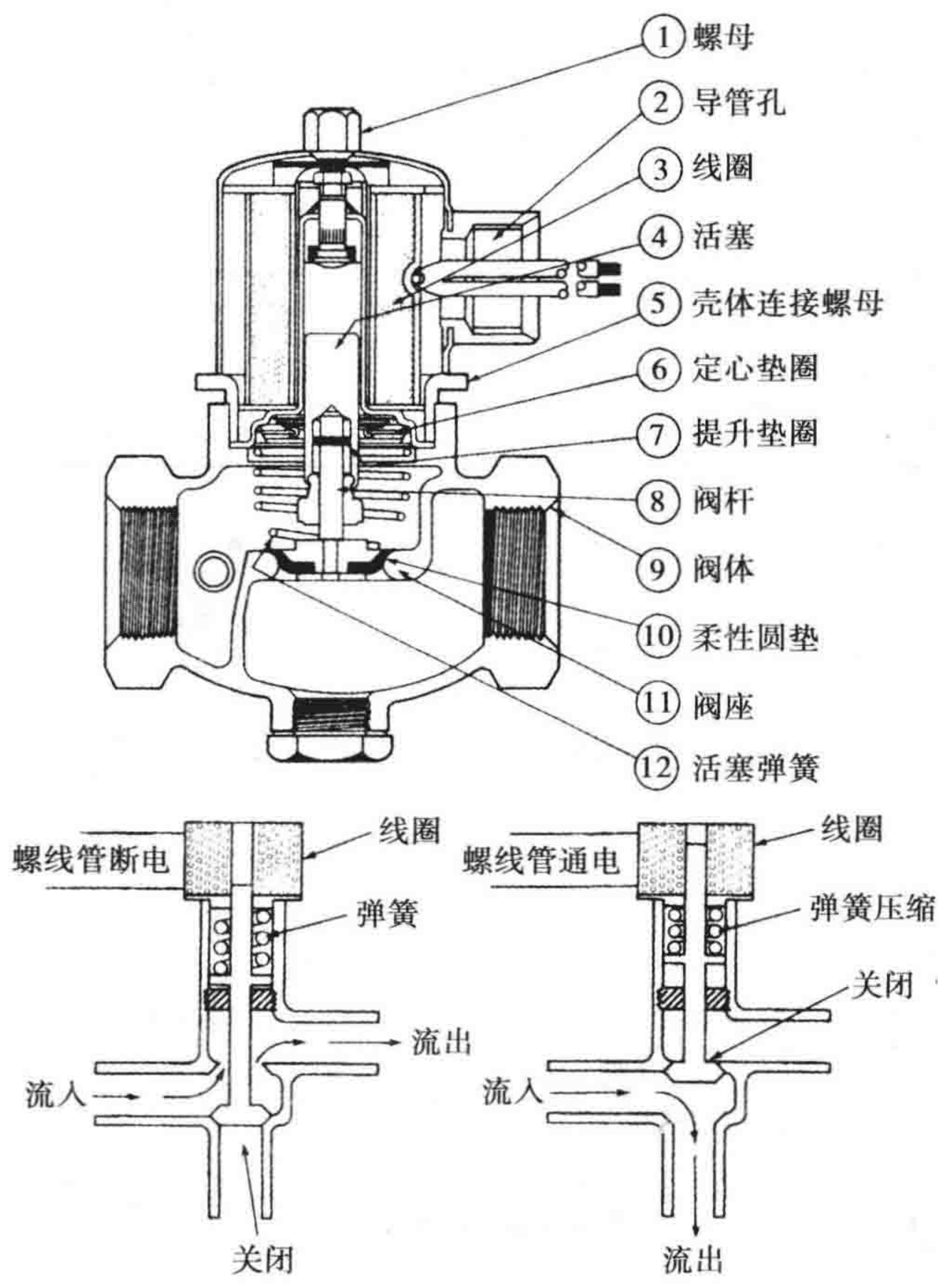


图 11-4 控制流入热风炉中天然气流量的螺线管（Honeywell 产品）

11.4.1 螺线管作为电磁铁

电磁铁是由软铁心周围缠绕线圈组成的。一个螺线管就是一个电磁铁。当电流流过线圈时，铁心会被磁化。

磁化的铁心可吸引衔铁，形成磁断路器（见图 11-5）。注意观察磁断路器与要保护的负载电路，以及开关触头这两者串联连接的方式。当电路中流过的电流过大时，电磁铁中的超强磁场会将衔铁吸引到铁心处。连接在衔铁上的弹簧会将开关触头断开，从而将电路断开。为了让电路重新正确工作，必须手动复位断路器。如果过载情况依然存在，断路器会再次“跳闸”。这种情况将持续出现，直到短路或过载的原因被查明并改正。

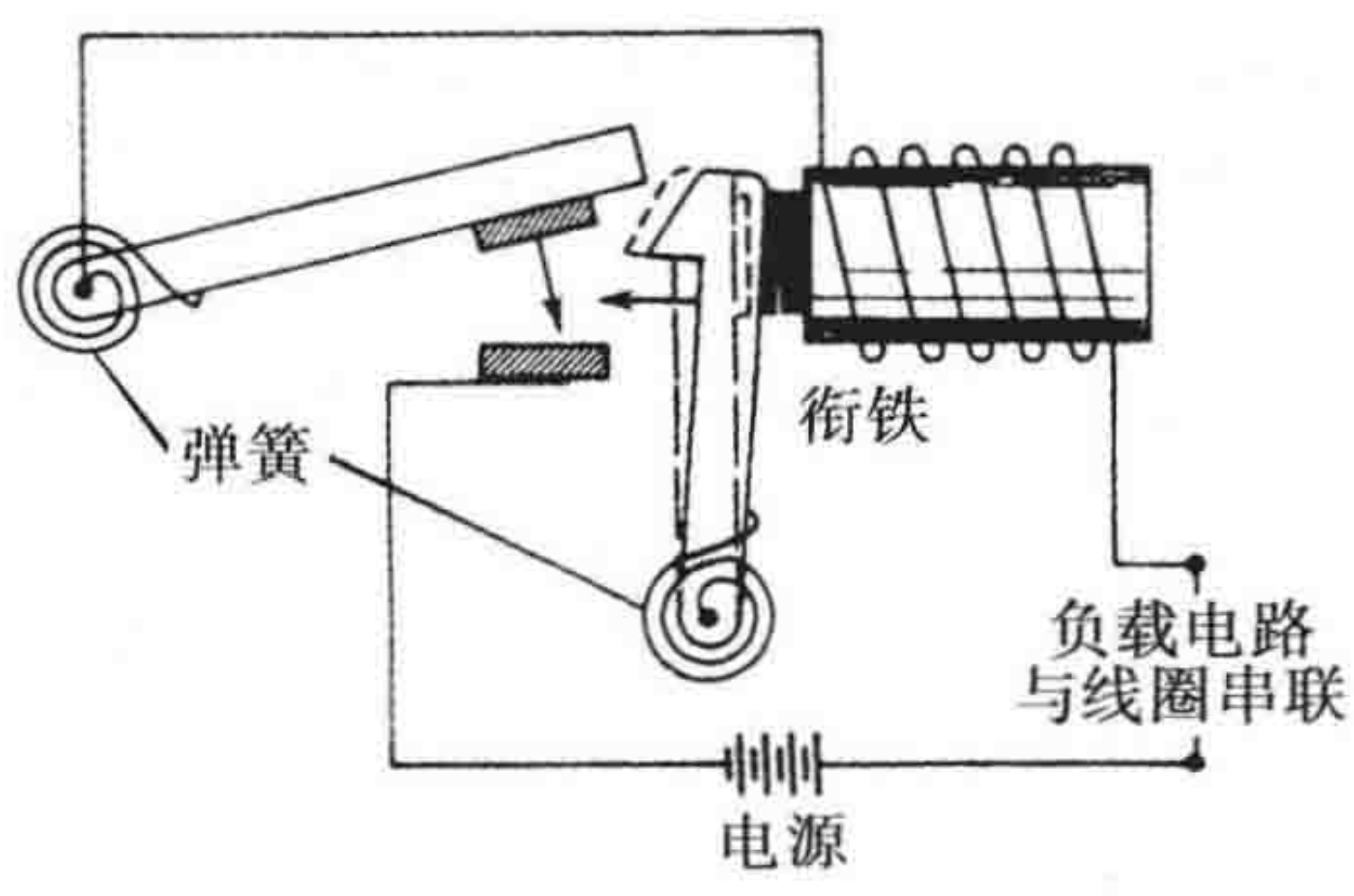


图 11-5 磁断路器

11.4.2 螺线管线圈

线圈是螺线管中最重要的部分，这是因为如若线圈不能够加电，它所控制的阀门或开关触头就不能工作。在空调电路、制冷电路以及加热电路使用的螺线管中，应当至少了解三类线圈。根据不同的应用场合，它们可以分成不同的类别，如表 11-1 所示（见图 11-6）。



表 11-1 螺线管线圈的分类

类别	应用
A	正常使用，用于最高温度为 175 ℉ ( $1\text{ ℉}=\frac{5}{9}\text{℃}$ ) 的气体或液体中，需要防潮
B	周围环境与液体温度最高可达 200 ℉
H	最高温度为 365 ℉，高蒸汽压力，快速循环阀，高电压，抗菌
BW	与线圈 B 相同，防水，抗菌，塑料密封，用于最高温度为 200 ℉ 的环境中
W	与线圈 A 相同，防水，抗菌，塑料密封，用于最高温度为 175 ℉ 的环境中



图 11-6 阀门中使用的螺线管

11.4.3 线圈的检修

线圈过热会导致其出现故障，出现故障时可以替换掉。要确保阀门的温度不高于线圈额定参数中的温度。替换线圈时，要正确地重新组装好螺线管。部件缺失或重组不当会导致线圈过热。见图 11-7 所示的部件分解图。

外加电压必须满足线圈的额定频率与额定电压。损坏的隔磁管或管套会产生热量，阻碍螺线管工作。对于需要更大电阻的应用场合或者有不同电气性能要求的场合，要使用合适的螺线管线圈。在没有改变整个螺线管的装配（线圈、活塞、隔磁管以及基座配件）时，电源不要在直流电与交流电之间互相变化。

更换线圈时，首先要确保切断了螺线管的电源。大多数情况下，不必将阀门从管线处移走。断开线圈的引线，小心拆开螺线管并按倒序重新装配。若不能正确地重新装配好螺线管，可能会导致线圈烧坏。

浪涌电压抑制器可用于保护线圈免受线路浪涌电压的影响。图 11-8 所示的线圈引线的连接方式使之可以在 120V 或 240V 的电压下工作，这些称为双电压线圈。

图 11-7 所示的阀门是一种串联平衡隔膜电磁阀，可为家用与工业炉、锅炉、转换燃烧器，以及利用温控器、限位控制一类的设备提供开关控制。对于高工作压力和低耗电量的情况，阀门使用了一块平衡隔板。该阀门适用于所有气体，具有不同的尺寸、容量以及压力。

线圈通电时，若出现一种低沉的、勉强能听到的杂音是正常的。如果阀门逐渐发出一种嗡嗡声或颤动的噪声，则要检查一下电压是否合适。彻底清理活塞与隔磁管的内部，以确保隔磁管与螺线管紧密连接。见图 11-9。



图 11-7 给水调整阀部件分解图



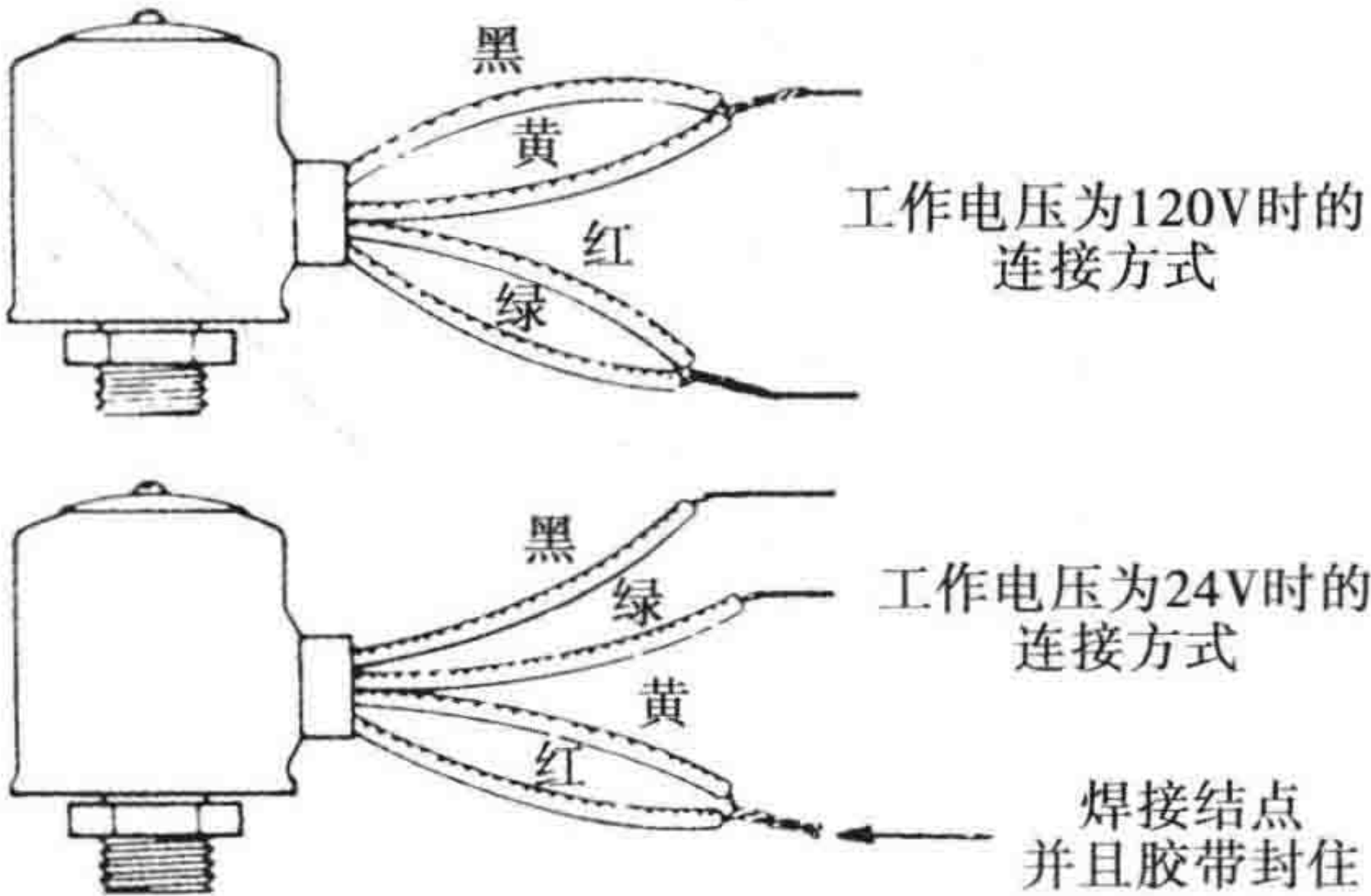


图 11-8 双电压线圈的接线图

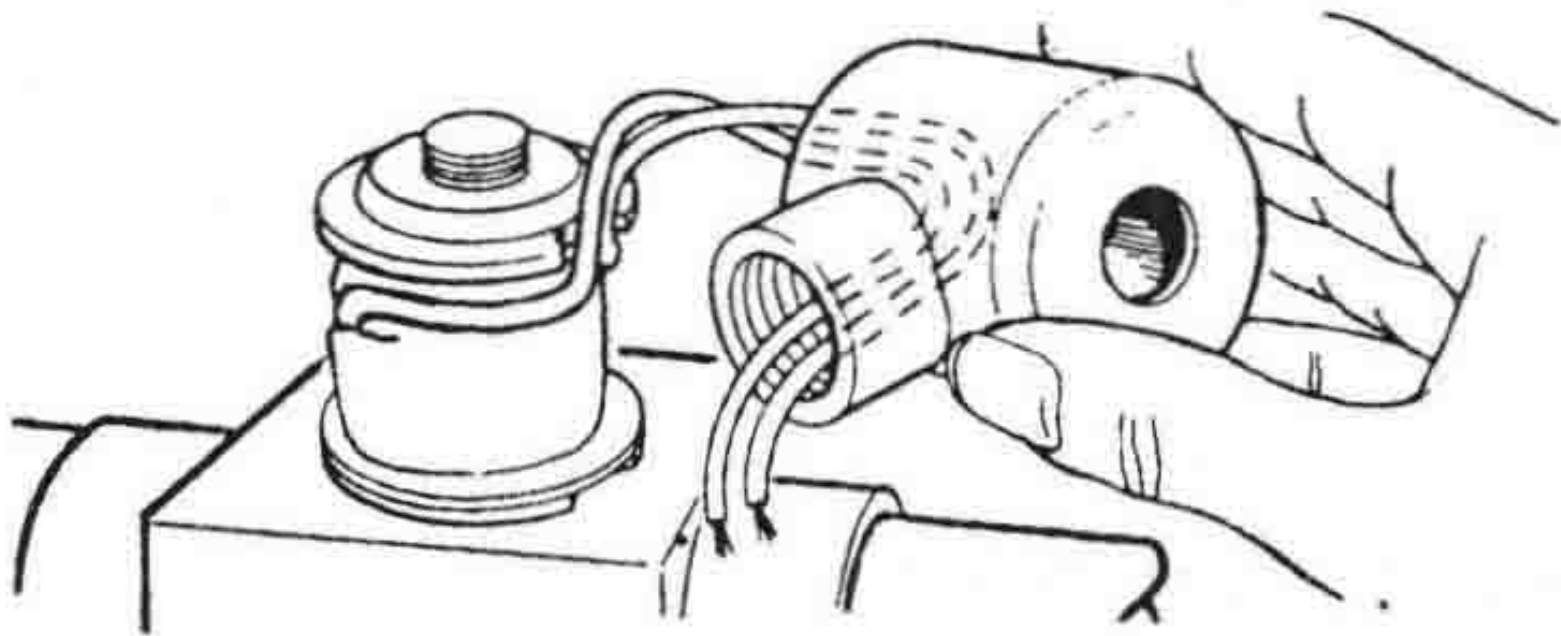


图 11-9 打开盖子后的螺线管线圈

11.5 电路中的电磁阀

电磁阀可应用在制冷系统的多种装置中。电磁阀是由电来操作的，如图 11-10 所示。当阀门按图 11-10 所示的方式连接并通电时，阀门会保持开通状态。当切断电流时，阀门会关闭。总体来说，当其所控制的固定设备达到预期温度时，电磁阀会控制流入膨胀阀的液态制冷剂或者从蒸发器中流出的制冷气体。电磁阀最常见的应用是在液体管线中，与温控器一同工作。这样连接以后，利用温控器设置设备内的预期温度。达到这个温度时，温控器会断开电路，切断流向阀门的电流，电磁阀关闭后，切断膨胀阀的制冷供应。冷凝装置的操作由低压开关来控制。在其他应用中，蒸发器每天只工作几个小时，可以使用人工操作的瞬时开关来对电磁阀进行操作。

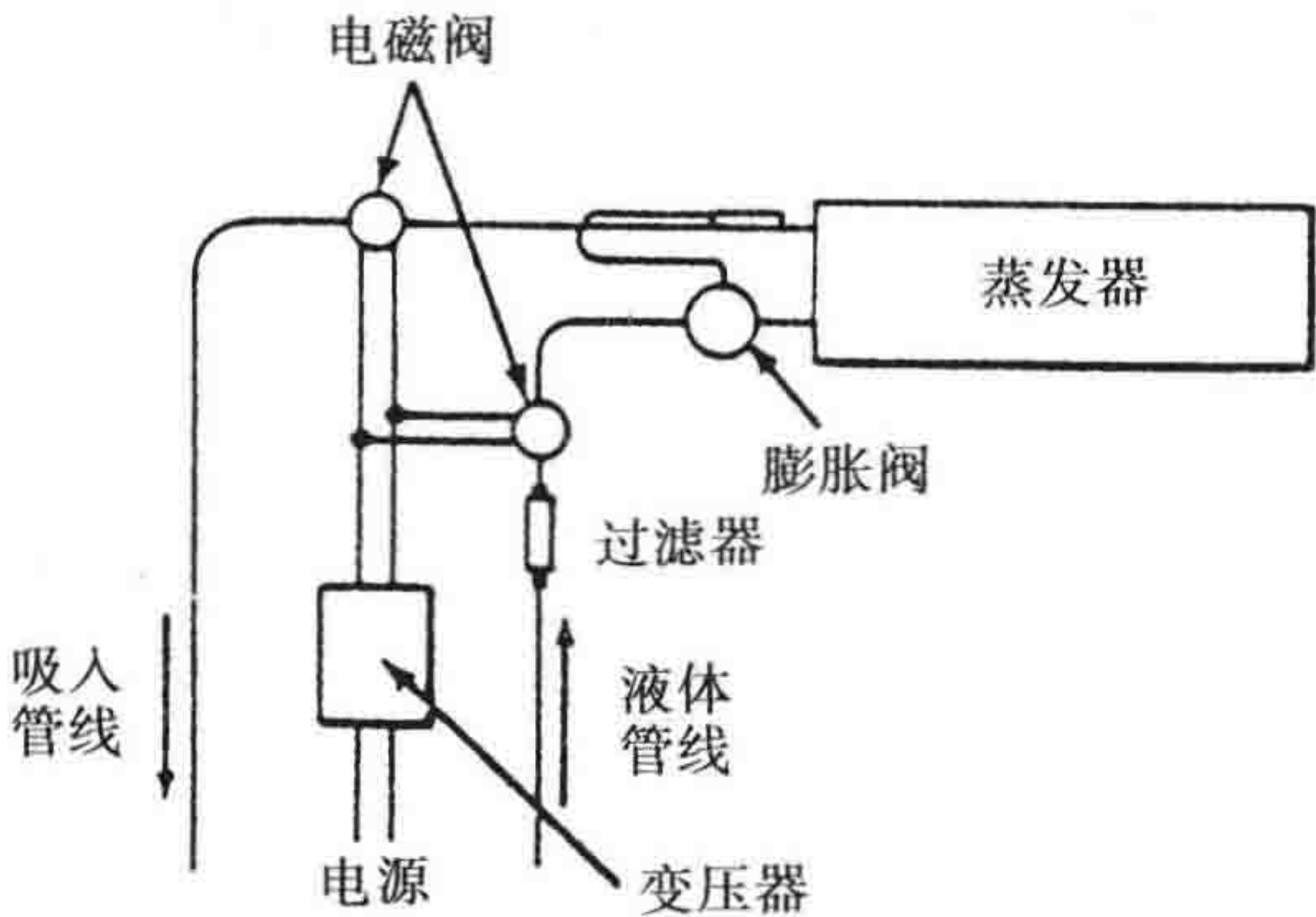


图 11-10 接入制冷系统的吸入管线与液体蒸发管线的电磁阀

制冷阀

图 11-11 所示的电磁阀工作在常闭状态。一个直接作用的金属球与底座确保了紧密的闭合。双线 W 型线圈是低温或凝水条件下可长时间使用的类型。断电或干扰会使阀门在关闭位置自动关闭。在危险区域可以使用防爆型设备。

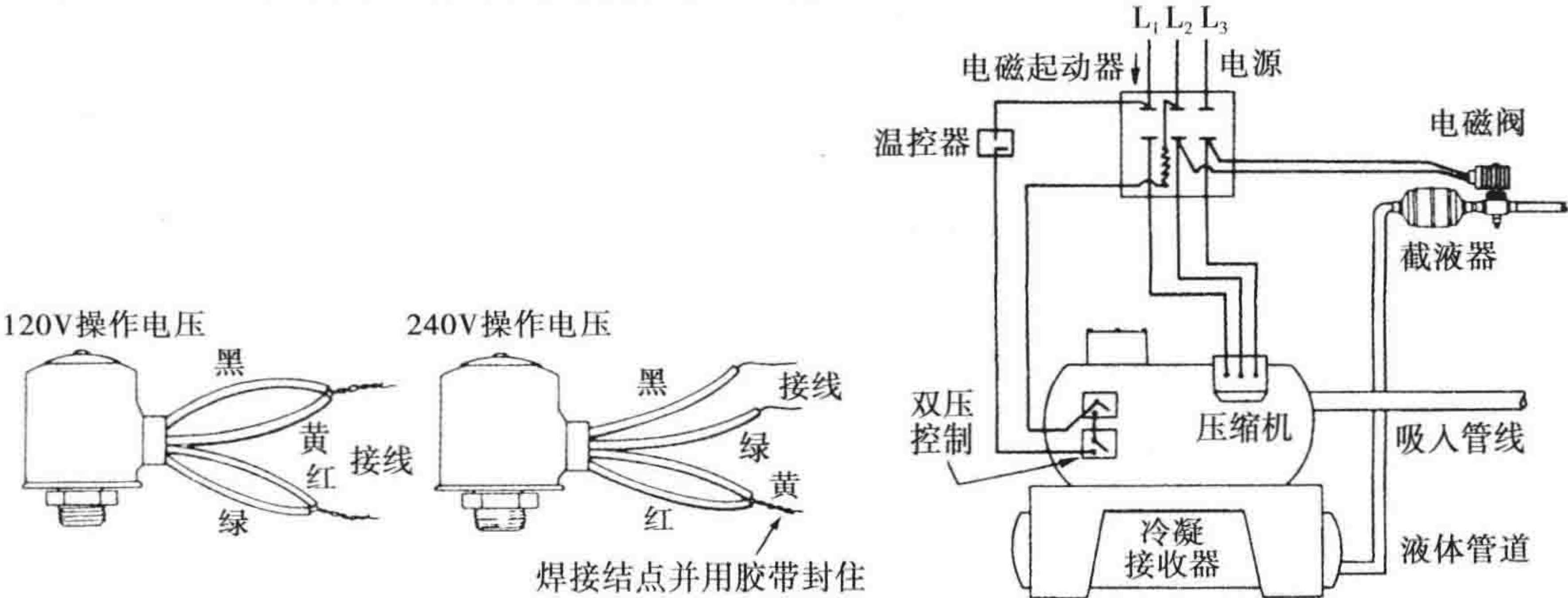


图 11-11 制冷装置的原理图



该电磁阀可用于除氨外的所有冷凝剂中，也可用于空气、油、水、洗涤剂、丁烷或丙烷气体以及其他无腐蚀性的液体或气体中。

利用这些阀门可以组成多种温度控制装置，包括分流器、除霜、吸入管线、热气供给、湿度控制、醇类、卸载、反转循环、冷水、冷却塔、卤水以及液体管线停止装置和制冰机。

由于有活塞组件的重力以及阀球顶部的流体压力，所以阀门保持在常闭位置。通过给螺线管或线圈通电可以打开阀门，利用磁力抬起活塞使流体通过阀球完全流通。线圈断电，活塞与阀球返回闭合位置。

## 11.6 思考题

1. 定义螺线管。
2. “螺线管吸入”这一术语是什么意思？
3. 电磁铁中的衔铁有何用处？
4. 螺线管最重要的部分是什么？
5. 列举出 5 类螺线管。
6. 双电压线圈是什么？它们是如何接线的？
7. 串联平衡隔膜电磁阀用在何处？
8. 线圈得电时，一种勉强可以听到的杂音表示什么含义？
9. 电磁阀用在何处？
10. 阀门是怎样做到自动关闭的？



## 第 12 章

# 电动机的起动方法

### 12.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 描述一个分相电动机如何实现反转的。
2. 列出分相电动机的用途。
3. 确定推斥电动机。
4. 确定电容起动电动机。
5. 解释如何改变电容起动电动机的旋转方向。
6. 描述永久分相电容式电动机的最佳用途。
7. 解释罩极电动机是如何运行的。
8. 列出不同的电动机起动方法。
9. 解释定子电阻如何起动操作。
10. 解释部分绕组起动是如何完成的。
11. 列出部分绕组起动的优点和缺点。
12. 描述 Y- $\Delta$  起动器是如何工作的。
13. 列出 Y- $\Delta$  起动器的优缺点。
14. 描述变极式电动机控制器的操作原理。
15. 确定最经济的起动器类型。
16. 列出 5 类起动方法的基本特性。
17. 为所需的特性选取一个起动器。

### 12.2 电动机

当电动机运行在额定电压下时，可以提供最佳的整体设计性能。然而，这个电压往往不能保持长期稳定，相反，它会在允许的最大值和最小值之间波动。电压波动通常是由于配电系统中的线路和变压器引起的，并且与电动机或负载电流成正比。

在大多数使用负载中心配电系统的现代电厂中，对单相和三相笼型电动机或同步电动机，电压变化范围通常都会限制在 110~120V，220~240V，440~480V 或 550~600V 内。然而，在全国各地一些年代较久远的电厂拥有大量的低压系统。低压长馈线引起的电压下降，经常会导致位于末端的电动机端电压低于标准电压的下限，尤其是在电动机起动时，电流可高达 6 倍的正常负载电流。表 12-1 显示了电压变化对多相感应电动机性能的影响。

单相和多相电动机在不同的运行条件下需要不同的策略或方法。大多数单相电动机通过一个开关或者电磁起动器来起动。



表 12-1 电压变化

额定电压 (V)	下限 (V)	上限 (V)	额定电压 (V)	下限 (V)	上限 (V)
220	210	240	4000	3920	4320
440	420	480	4600	4500	5000
550	525	600	6600	6470	7130
2300	2250	2480			

12.3 电动机的起动

起动装置是电动机中最重要的部分。单相电动机需要一个特殊类型的起动装置。当电动机的速度到达预定速度的 75% 时，通过离心开关分离起动绕组，电动机继续加速到额定转速，起动成功。分相、电容起动以及其他类似的电动机都需要起动装置来起动。

分相电动机的定子上有两种类型的线圈，运行绕组和起动绕组。运行绕组是由漆包铜线通过定子冲槽而制成的。起动绕组也是以相同的方式制成的，只是铜线更细一点。组成起动绕组的线圈是成对固定在定子中的，并在运行绕组之间相互对应。观察定子的末端，你会看到运行绕组和起动绕组交替出现（见图 12-1）。

运行绕组都连接在一起，所以电流在进入下一个线圈之前必须完全通过前一个线圈，依次类推，通过所有定子的运行绕组。而起动绕组也以同样的方式连接在一起，电流必须依次通过每个起动绕组（见图 12-2）。

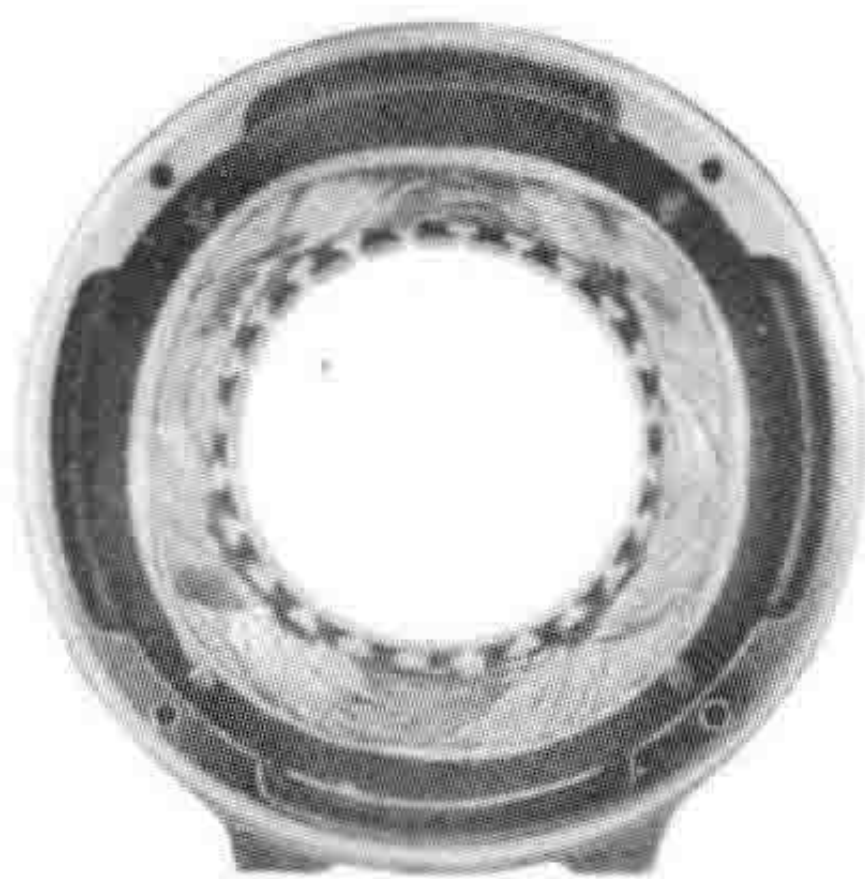


图 12-1 分相电动机的绕组（Bodine Electric 公司产品）

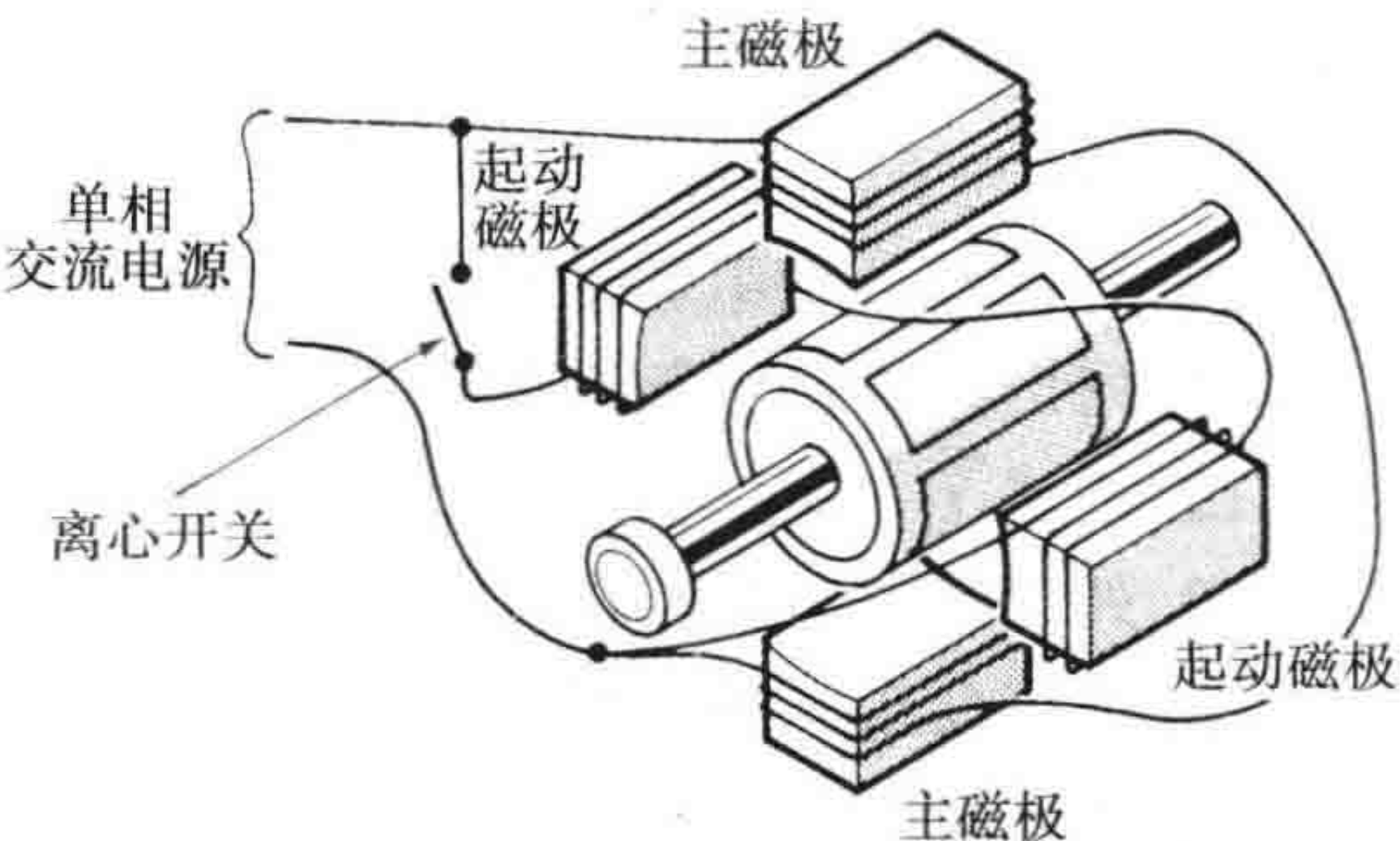


图 12-2 单相感应电动机

在定子上运行绕组的两条线连接在端盖的绝缘接线盒的不同接线端子上，在这里电源线连接到相同的端子上。同样，起动绕组的一条线也连接在这些端子上。但是，起动绕组的另一条线却连接在端盖里的固定开关上。然后，另一条线将开关连接到绝缘接线盒的对侧端子上。固定开关是不能旋转的，但它的安装位置可使电动机加速到一定速度时，开关旋转部分的重心位于转子轴上，并且可以向外移动，从而打开开关，切断通过起动绕组中的电流。

此时电动机只靠主绕组运行，直至关闭。随着转子速度的逐渐降低，旋转开关的重量再次使其向内向固定开关侧移动，黏合起动绕组，从而为下一次起动做好准备。

12.3.1 反向旋转

分相电动机的旋转方向可以通过反接起动绕组的引线来改变。

12.3.2 用途

这种类型的电动机可以用于风扇、高炉鼓风机、燃油器、办公用电设备和暖风机中。



## 12.4 推斥感应电动机

推斥感应电动机以一种工作方式起动，当它将达到额定转速时，会转换成另一种工作方式。在起动过程中，电枢和相邻的定子励磁绕组之间的磁极排斥运动将会产生很高的扭转力。不断控制和改变该扭转力，从而使得电枢旋转速度迅速上升。如果不及时停止，则转速将会继续增加甚至超过实际运行转速。这种情况使用一个转速驱动的机械开关来保护。它使得电枢会像单相感应电动机的通电转子一样运行，这就是这类电动机称为推斥感应电动机的原因。

这类电动机的定子与分相电动机或电容器起动电动机的定子十分相似，但是它只有运行绕组或励磁绕组安装在里面。端盖使电枢和轴保持原位不变，起到了支持轴承的作用。

电枢是由许多连接到换向器片段上的独立线圈构成的。固定在电枢另一端的是调速器重锤，它的作用是移动穿过电枢铁心的推杆。这些推杆推动安装在电枢换向器端轴上的短路环。刷架和电刷安装在换向器端盖上，其中，刷子用粗线连接压在换向器的两侧（见图 12-3）。

当电动机停止的时候，调速器重锤使短路环保持和换向器相接触。当接通电源时，电流流过定子励磁绕组，在电枢线圈中感应出电流。两个电刷连接在一起形成一个电磁线圈，使得电枢中产生一个 N 极和一个 S 极，以便电枢的 N 极位于定子励磁绕组 N 极的旁边。由于同极相斥，因此该排斥力就会推动电枢转动并使电枢线圈远离励磁绕组。

电枢会转动得越来越快，直到加速到运行转速的 80% 左右。在这个速度下，调速器重锤向外飞，并使推杆向外移动。这些平行于电枢轴的推杆会将短路环一直推向远离换向器的方向。一旦限速器达到设计转速，推杆可以按感应电动机转子中铸铝盘相同的方式运动，这时电动机就可以像感应电动机一样运行了。

### 用途

推斥感应电动机可以在不需要很大电流的情况下起动很重且不易转向的负载。它们的功率范围为 0.5~20hp。这类电动机可供如大型空气压缩机、制冷设备和大型起重机等使用，尤其是在有低电压问题的地方，这种类型的电动机已不再用于制冷行业。在一些老的经营单位可能会发现这种类型的电动机仍在使用。

## 12.5 电容起动电动机

电容式电动机与分相电动机略有不同。它在起动绕组的电流路径中加入了一个电容器（见图 12-4），该电气元件可以减慢任何电流的迅速变化。除此以外，这两种电动机在电气上是相同的。电容式电动机通常通过安装在定子内的电容器或电容器罩

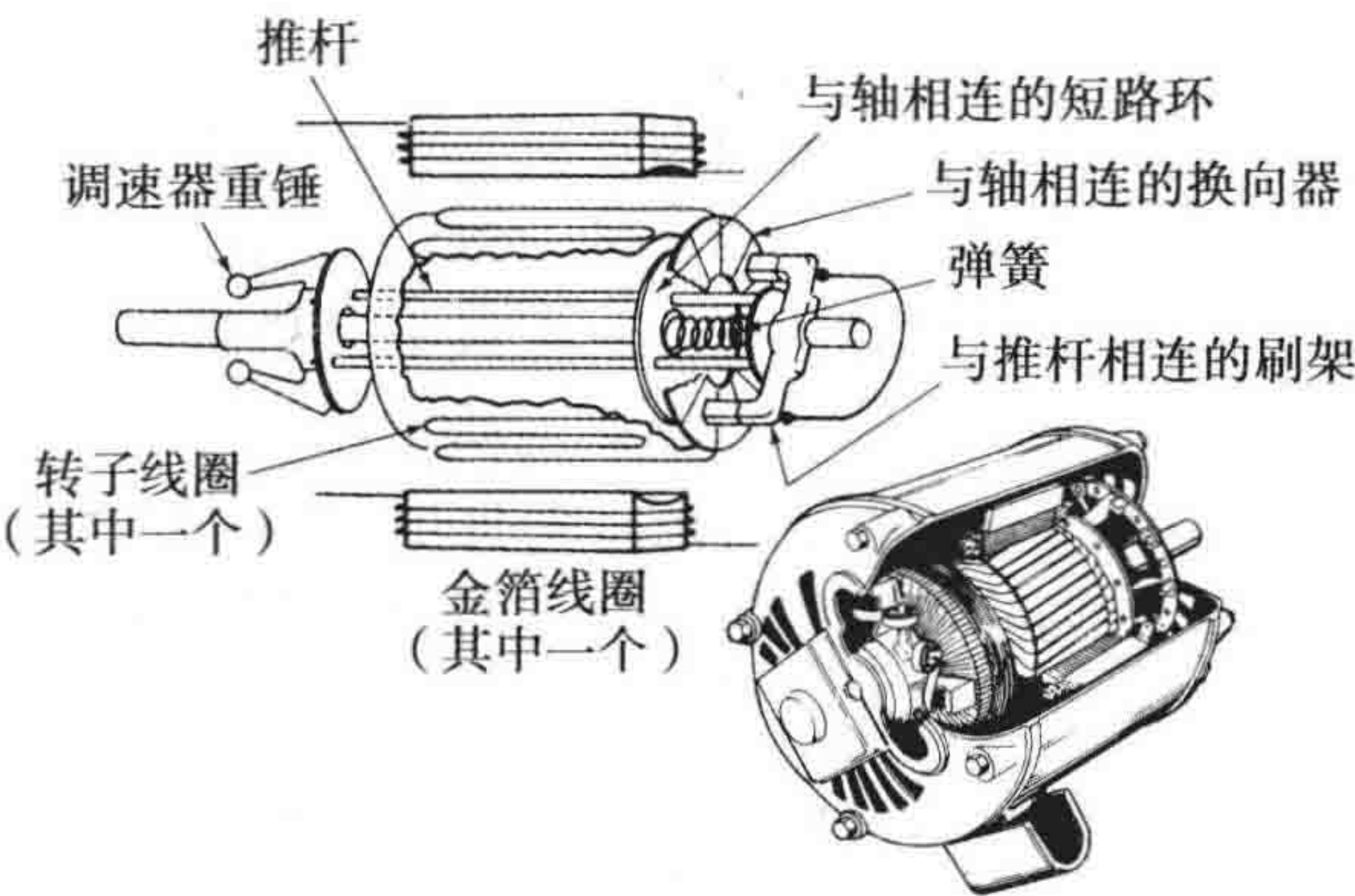


图 12-3 举刷推斥起动型感应单相电动机

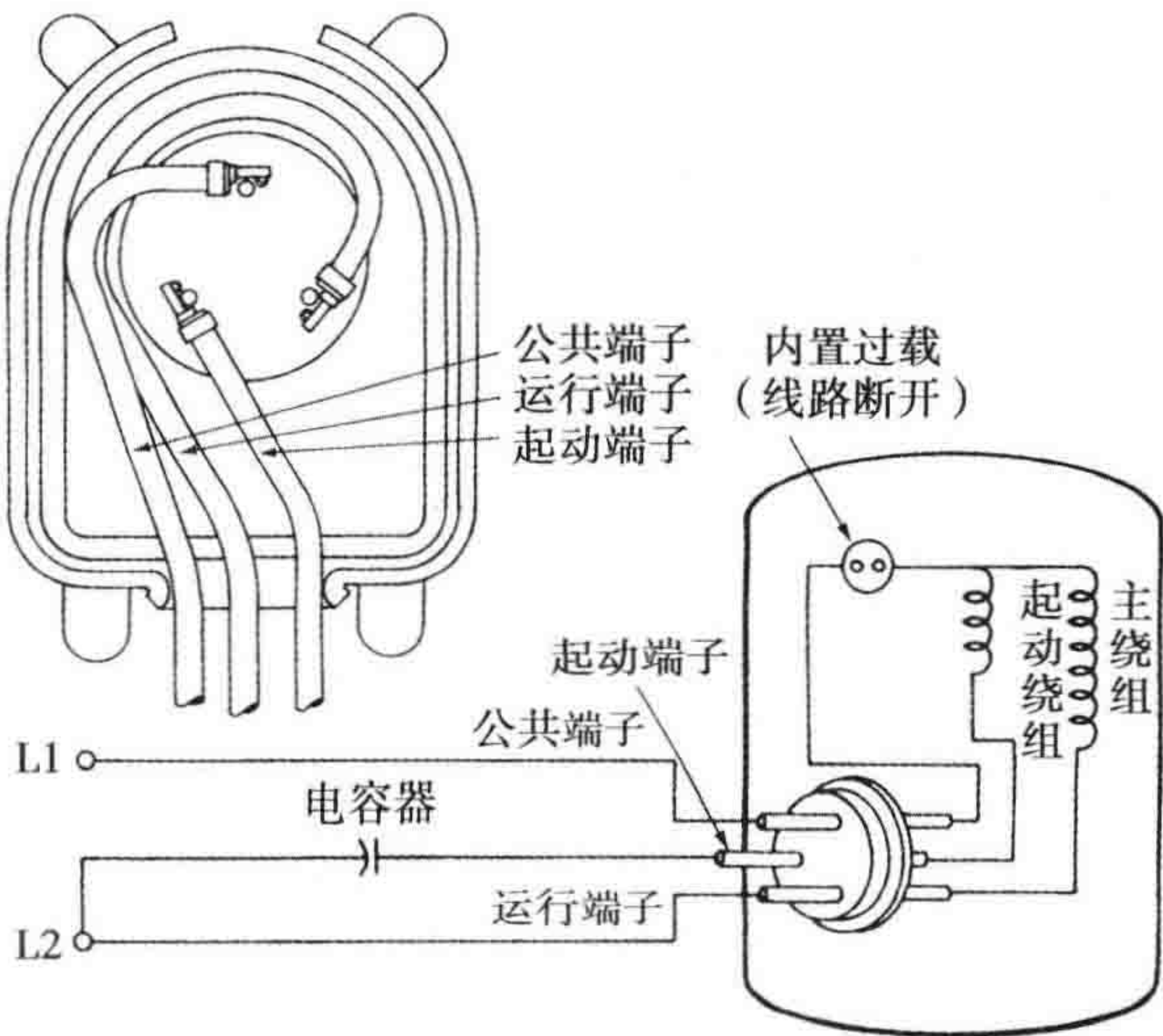


图 12-4 空调和热泵压缩机的单相图



进行识别（见图 12-5）。

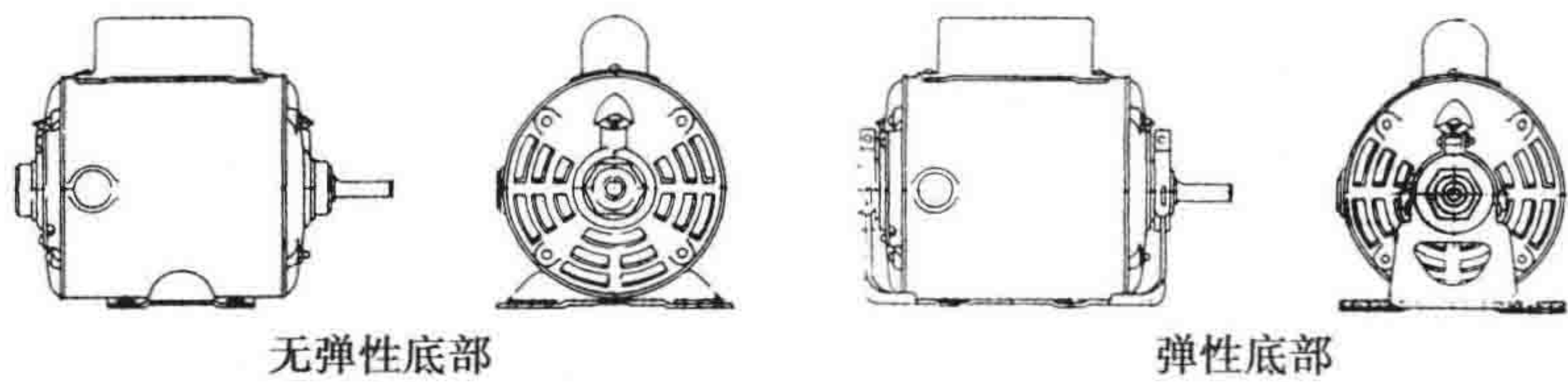


图 12-5 电容起动电动机

在起动绕组上增加电容器，增加了在分相电动机里提到过的两相磁场的影响。电容器使电动机可以在起动时产生更大的扭转力。它也减少了起动电动机所需的电流值，使它降到了只需 1.5 倍正常运行所需的电流。而分相电动机在起动时需要 3~4 倍正常运行的电流。

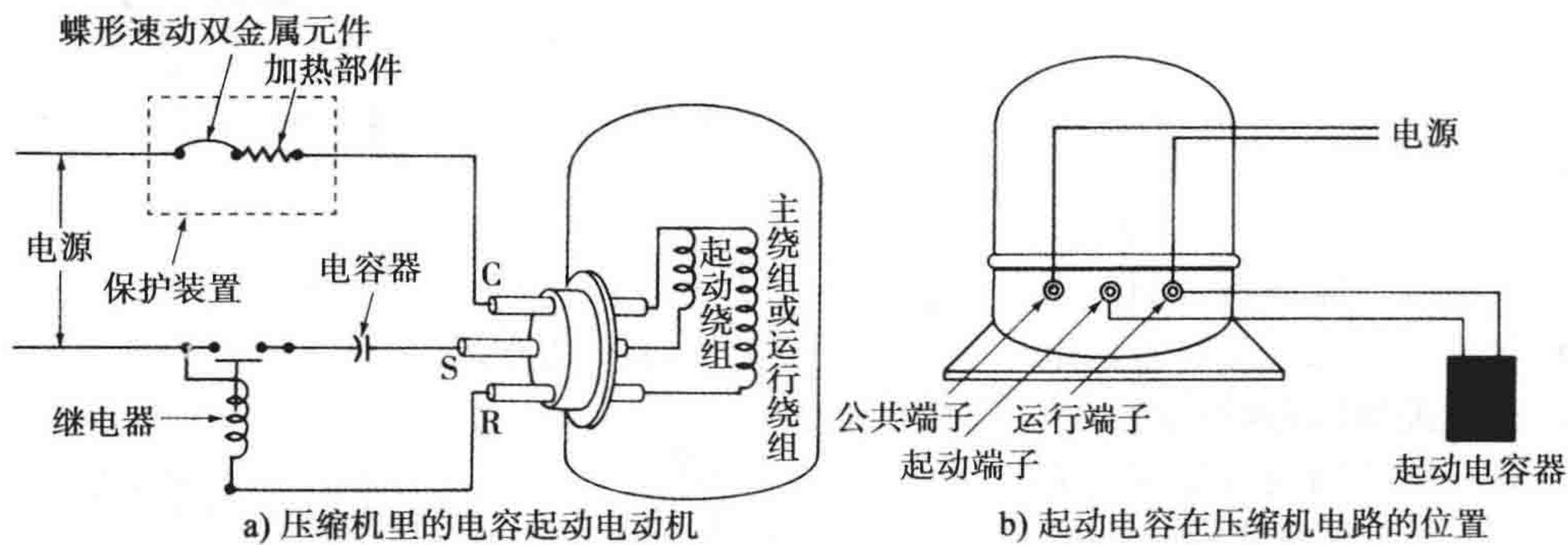
12.6 反向旋转

感应电动机在运行时不会始终反向旋转。它可能会在同一方向以较低的效率持续运行。反转惯性负载是很困难的。如果电动机可以带动非惯性负载进行反转，则该电动机可反转。这类电动机在空载、轻载或者带惯性负载时，它们可能不反转。

与电动机反转运行相关的一个问题是连接负载的配电系统的损坏问题，在某些情况下有可能会损坏负载。确保电动机与负载的连接正确是避免这个问题的一种方法。

电容式电动机在静止的时候可以通过反接它的起动绕组使电动机反转。这是通常在电动机上操作唯一有效的方法。更换电动机可能无法实现预先所需的旋转方向，所以电工必须先找到起动绕组的端子，反接连线从而使得电动机在所需的旋转方向上起动。

图 12-6a 显示了用在压缩机里的一种电容起动感应电动机。这种类型的电动机使用继电器投入或切除电容器。关于这种继电器的更多细节将会在之后的章节中给出。图 12-6b 说明了电容是如何放在压缩机外的。



起动电容（黑色胶木箱子）规格	
压缩机功率（hp <sup>①</sup> ）	电容大小（μF）
1/8	95~200
1/6	95~200
1/4	200~300
1/3	250~350
1/2	300~400
3/4	300~400

① 1hp=746W。

图 12-6 电容起动电动机



用途

电容式电动机的功率在 1/6~20hp 范围内，通常用在起动相当困难的负载中并使它们在 3s 内就能达到额定转速。它们可用在工业机床、水泵、空调、空气压缩机、传送带和起重设备上。

12.7 永久分相电容式电动机

永久分相电容式 (PSC) 电动机用在空调和制冷机组的压缩机中。相比电容式电动机，它的一个优势是它不需要离心开关，所以也不会产生相关的问题。

PSC 电动机有一个与起动绕组串联的运行电容器。无论是在起动时还是起动后进入正常运行时，运行电容和起动绕组都保留在电路中。电动机的转矩对毛细管和其他自平衡系统是足够的。起动电容器或继电器是不需要的。PSC 电动机基本上是一个空调压缩机，功率通常是 3hp，但也可有 4hp 和 5hp 的 (见图 12-7)。

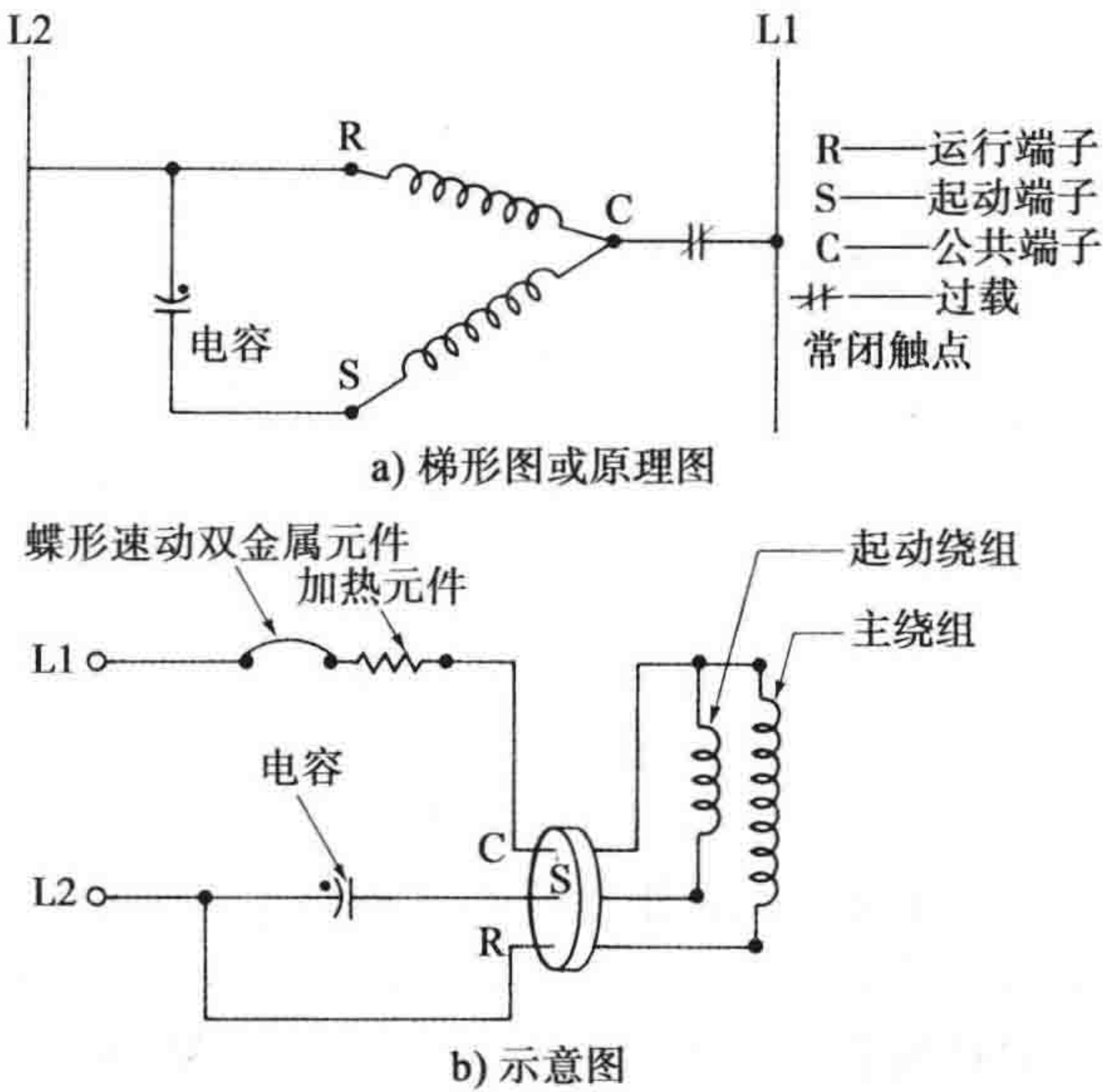


图 12-7 永久分相电容式电动机示意图

12.8 罩极式电动机

罩极式感应电动机是一种单相电动机，它通过一种特殊的方式构造了定子，使之产生一个移动磁场的效应使转子开始转动 (见图 12-8)。

极靴表面的一部分包围在一个称为罩极线圈的铜带里。铜带使磁场在极靴的表面来回移动。

图 12-9 显示了磁化曲线上的编号序列和点。当交变的定子磁场从零开始按照图 12-9a 所示的方式增加时，磁力线扩展穿过极靴表面并穿过铜带，铜带中感应出电压，进而主磁场产生阻碍切割动作的电流 (降低强度)。这一动作导致以下的动作：随着磁场从零增加到最大值 (90° 所对应的值)，大部分磁力线都集中在极靴的无罩部分 (见图 12-9a)。当 90° 时磁场达到最大，由于磁力线已经停止扩展，所以在铜带中没有感应电动势，也没有产生相反的磁场。结果，主磁场均匀地分布在极靴中 (见图 12-9b)。

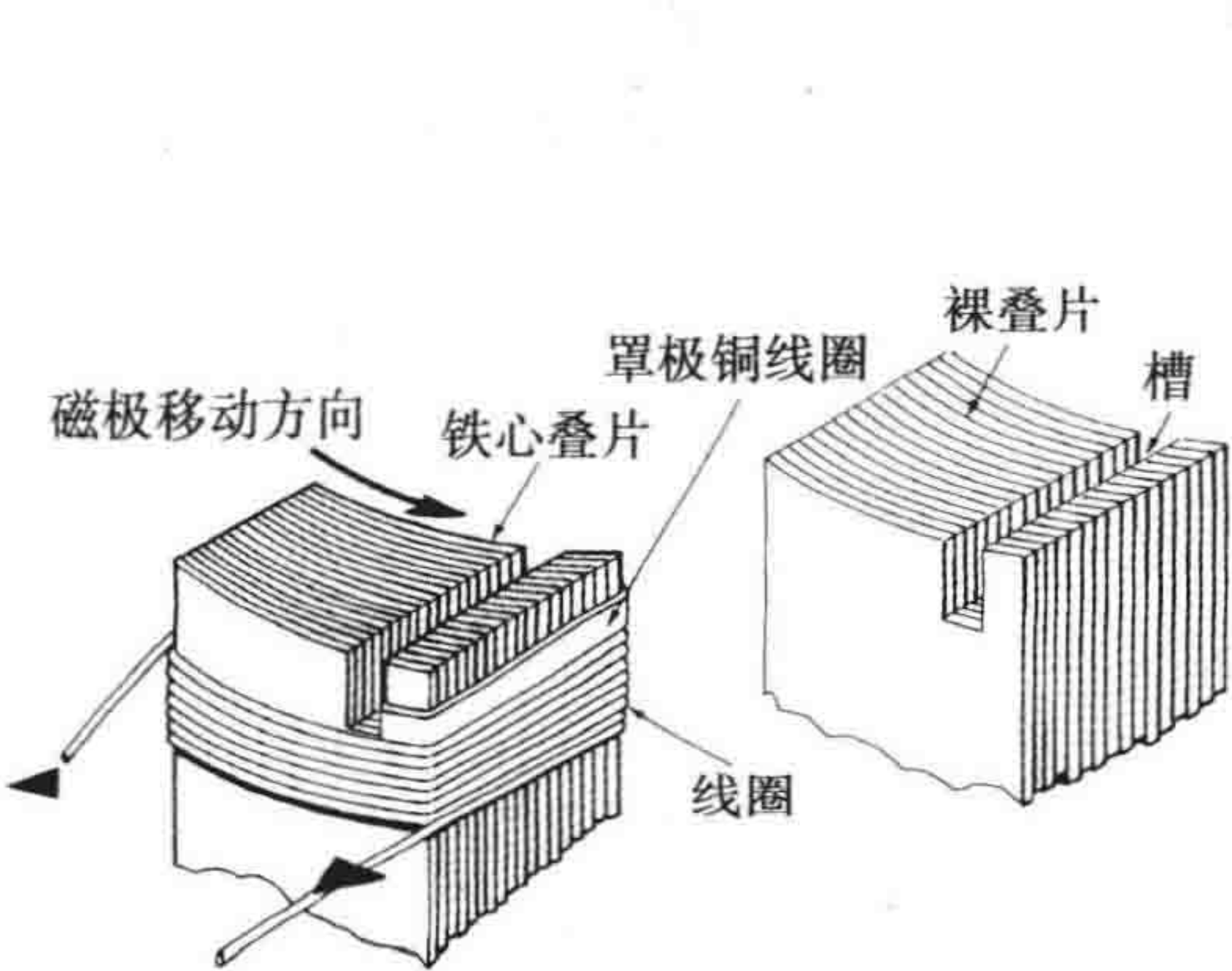


图 12-8 罩极式电动机的罩极

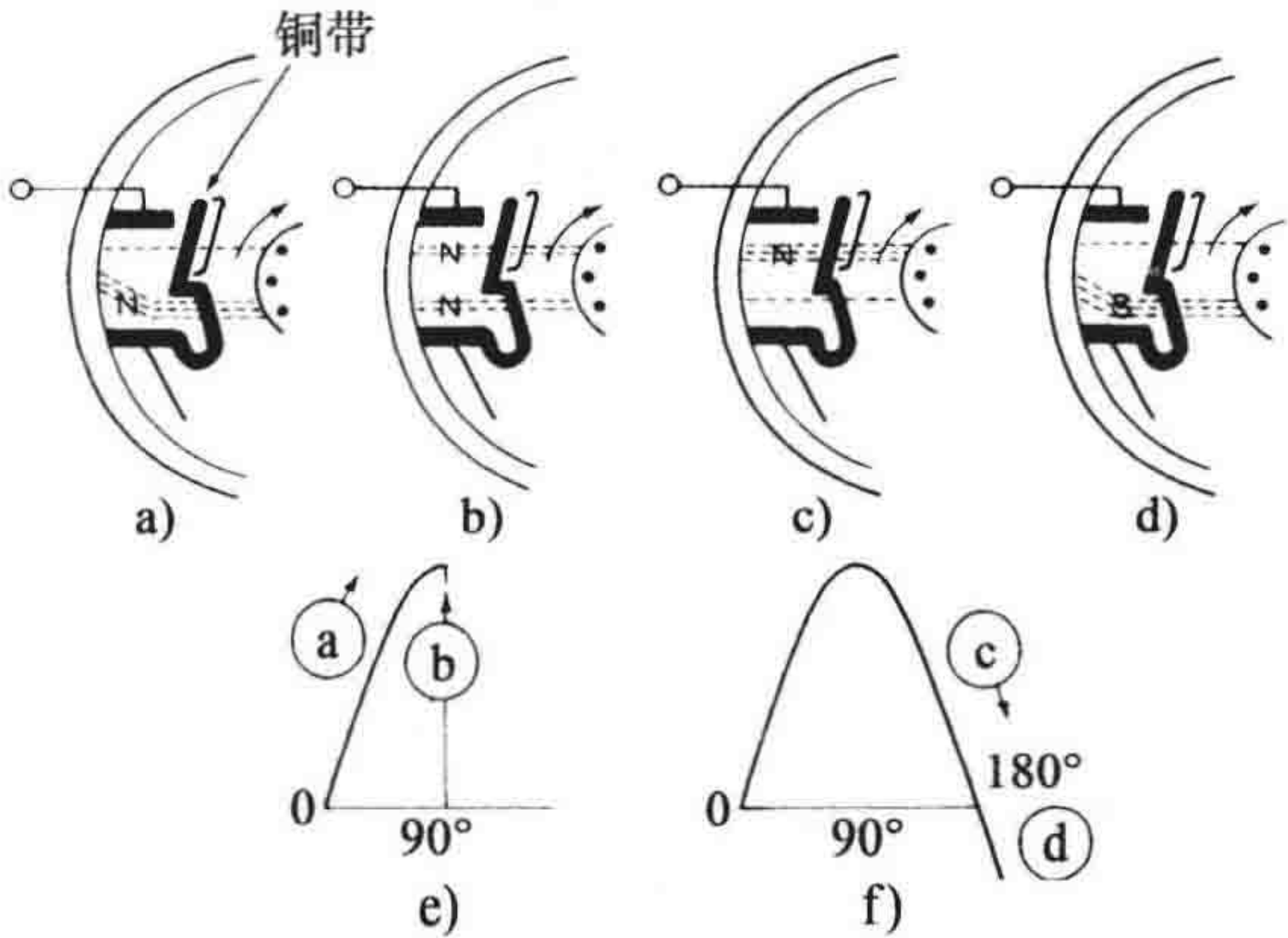


图 12-9 罩极在罩极式交流电动机中的应用



从 90° 到 180° 时主磁场减少或向内压缩，在铜带内产生阻碍压缩的磁场，结果是磁力线集中在极靴的罩极部分（见图 12-9c）。

注意，从 0° 到 180° 后，主磁场已经从磁极的非罩极部分表面移动到了罩极部分表面。从 180° 到 360° 时，主磁场经历了从 0° 到 180° 相同的变化。然而，它现在是在相反的方向上（见图 12-9d）。磁场的方向不影响罩极的工作方式。在 0.5~1Hz 内，磁场的运动是相同的。

磁场在罩极和非罩极部分之间的往返运动会产生一个微弱的转矩，这是可以起动电动机的转矩。因为这个起动转矩很小，所以罩极电动机的尺寸不大。它们可以驱使风扇、时钟和鼓风机等设备。

12.8.1 反向旋转

若把定子外壳端口和罩极端口互换，则罩极式电动机可以在机械上反转。这样的电动机的功率范围为 0.004~0.5hp。

12.8.2 用途

如前面所提到的，这种类型的电动机可以作为冰箱和冰柜的风扇电动机来使用。它们也可以作为一些不太大的空调设备的风扇电动机来使用。它们也可以作为除霜定时器或其他顺序操作设备的定时装置来使用。

风扇和电动机组件位于冰箱后部、冷冻室蒸发器的上方。吸风的风扇通过蒸发器将空气吸入，然后使其通过空气管和冷冻室的风扇格栅（见图 12-10）。图 12-10 所示的是一个模制的塑料风扇罩极电动机。为了有最大的空气循环量，风扇在电动机轴上的位置是最重要的。在电动机轴上安装的风扇叶片如果相对于蒸发器太靠前或者靠后了，都将导致不良的空气循环。冷冻室风扇必须安装在使风扇前沿位于蒸发器罩的 0.25in 处。

风扇组件如图 12-11 所示，它们用于顶级冰箱、无霜、玻璃纤维绝缘型号的冰箱中。冰箱风扇和电动机组件位于正对冰箱风道下的分离空间中。

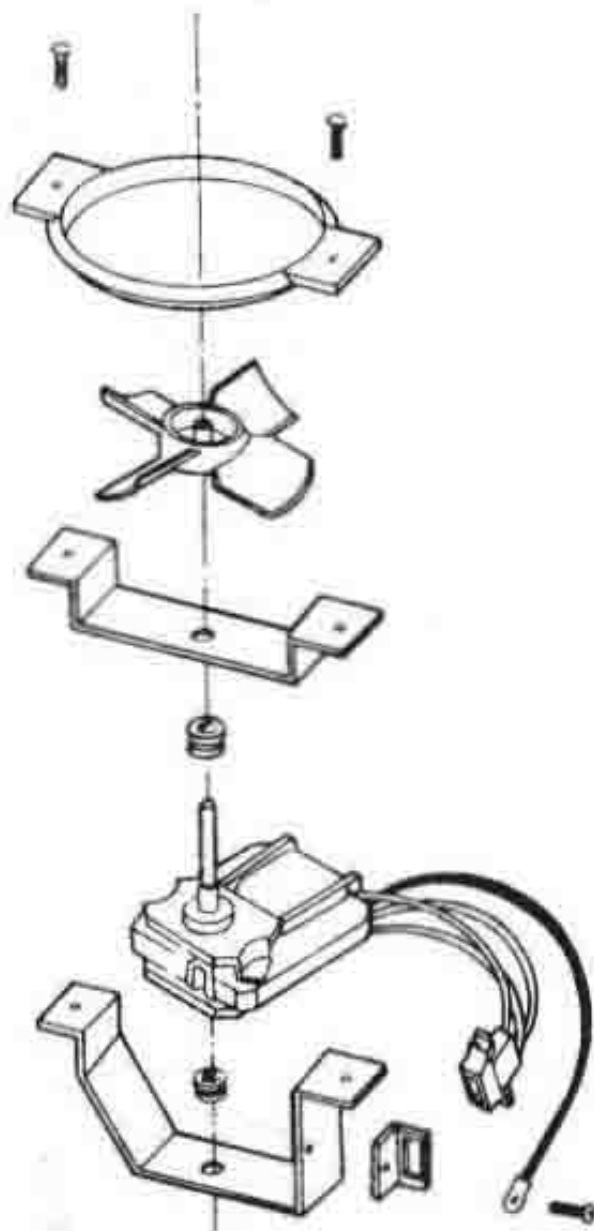


图 12-10 风扇、电动机和支架组装

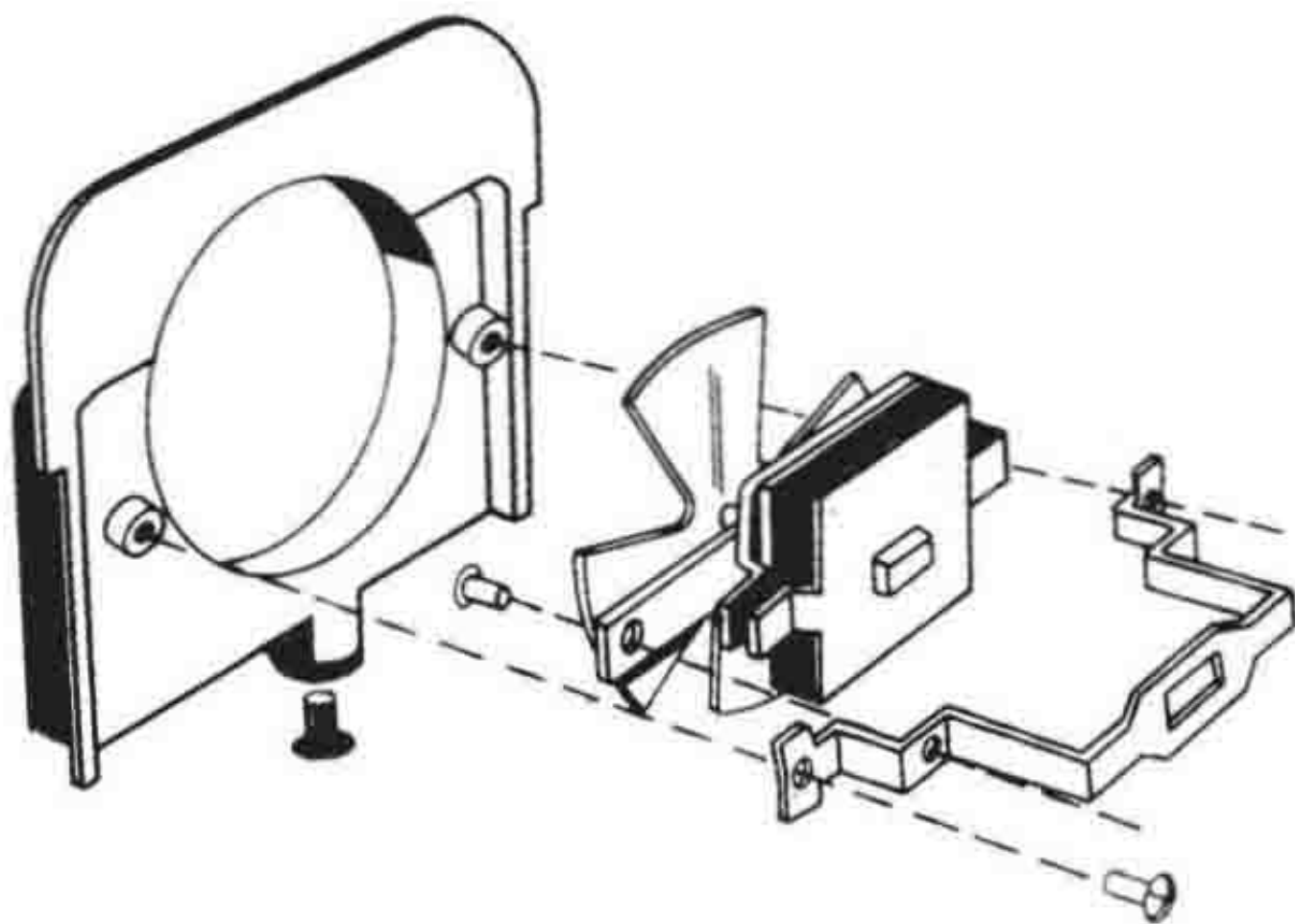


图 12-11 风扇和风扇电动机支架的装配图

12.9 分相电动机

单相电动机的磁场仅仅脉动而不旋转，在这里没有转子旋转。单相脉动磁场可视为两个旋转速度相同但方向相反的旋转磁场。如果在任何一个方向上给定一个初始的动力，那么转子将在那个方向上以接近同步转速的速度旋转。旋转速度的最初精确值随着不同的机器而变化。高于 15% 同步转速的初始速度通常足以使转子加速到额定或工作速度。如果有装置可以提供一个旋转磁场的效果，那么单相电动机可以自起动。



为了使分相电动机运行，电动机的定子中包含一个运行绕组和一个起动绕组。图 12-12 所示为分相电动机在端盖拆下后的情况，你可以看到起动开关及调节机构。

这种类型的电动机很难使用在空调和制冷设备上，因为它的起动转矩太小，而压缩机要求电动机在起动后要立即带上负载，所以它无法起动压缩机。然而，这种类型的电动机在加热设备上是非常有用的（见图 12-13）。

12.10 多相电动机起动器

对于单相电动机可以使用简单的手动起动器，在某些情况下，多相电动机也可以使用它。大多数由一组开关装置组成的多相手动起动器，是专为 1hp 或更小的电动机而设计的。图 12-14 所示的装置是为笼型电动机全压控制或绕线式电动机的基本控制而设计的磁电动机起动器。它们可用在单向、反转和双速应用场合中。图 12-15a 显示了单相和三相单向型起动器的区别，图 12-15b 所示为换向图，图 12-15c 所示为双速、单绕组起动器，图 12-15d 所示为双速、双绕组起动器，它适用于最高可达 100hp 的电动机。

在全压起动过程中，电动机的输入电流为额定电流的 5~8 倍。这可能会导致供电线路产生暂时过大的电压降，使灯闪烁，甚至中断供电。

为了控制这些暂时的电压降，电力公司通常有如下限制措施：

- 限制最大起动电流（或电动机容量）
- 对每马力的电动机容量有特定的限制
- 限制可以全压起动的电动机的最大功率
- 按步骤限制最大线电流（增量起动）

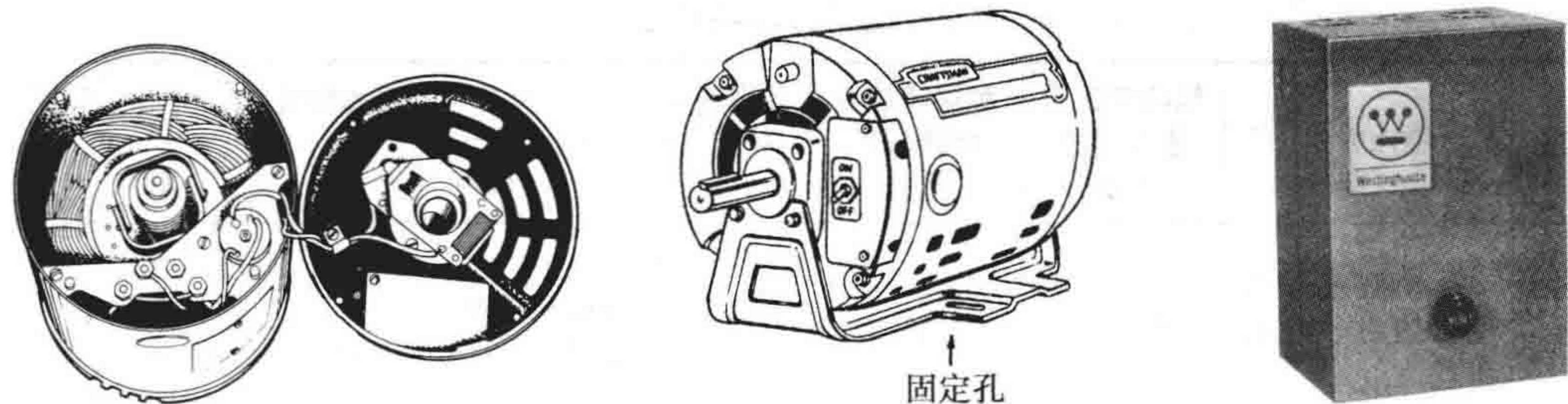


图 12-12 单相起动开关和调节机构      图 12-13 分相单相电动机      图 12-14 非复合磁电动机起动器 (Westinghouse 产品)

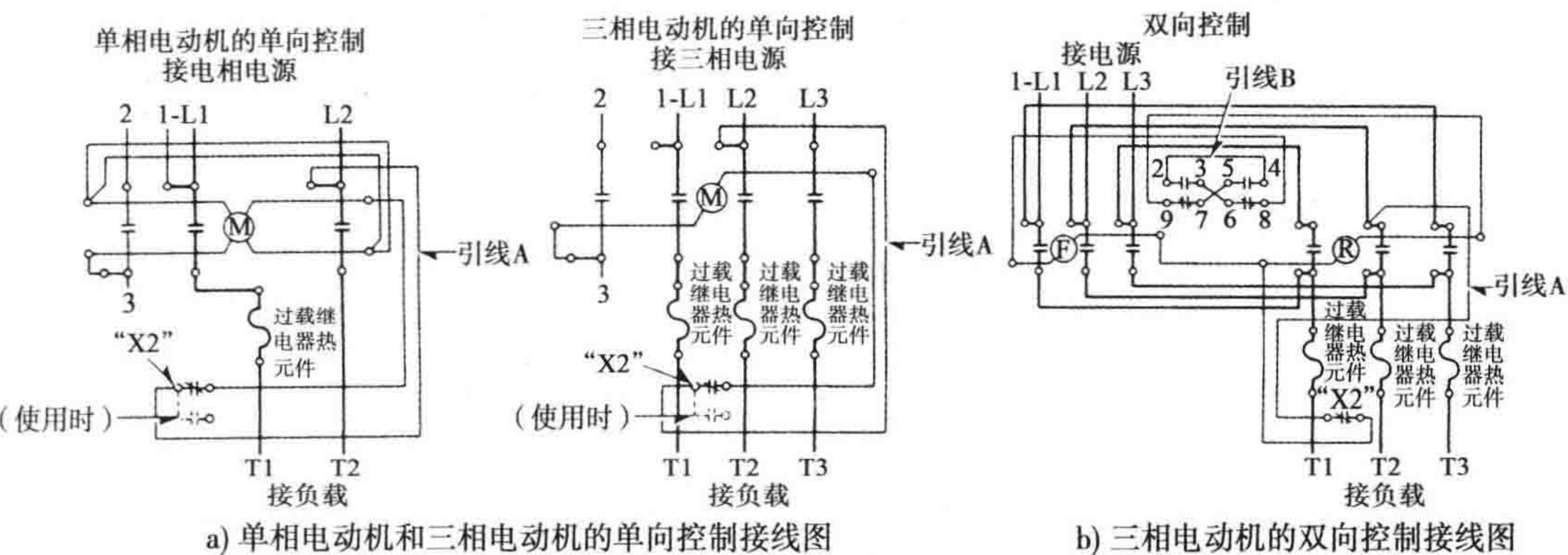


图 12-15 多相电机起动器 (Westinghouse 产品)



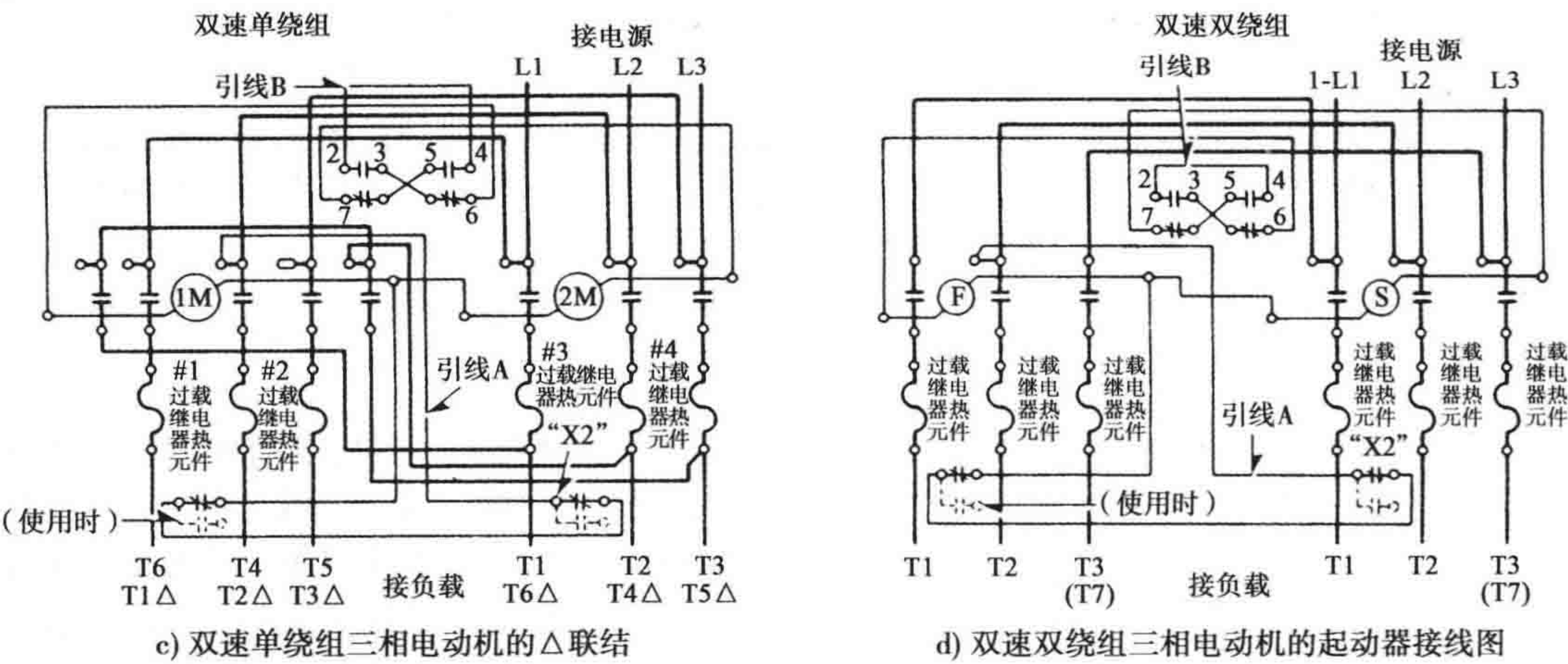


图 12-15 (续)

不同电力公司的限制措施的变化也很大，甚至一个公司内不同服务区都有很大的不同。在安装一个较大的电动机前，查询当地电力公司的限制措施是明智的。

12.11 减压起动方法

减压起动器的操作原理是降低输入电流及相应的起动转矩。表 12-2 简要描述了起动的各种方法，并给出了每种方法的特点和局限性。

表 12-2 起动方法的特征

起动方法	操作方式	起动电流与堵转电流之比	起动转矩与堵转转矩之比	开启或关闭切换	基本特征	
					优点	缺点
直接起动 (全压起动)	起动时电动机直接连在供电线路上	100%	100%	无	1. 成本最低 2. 高起动转矩 3. 适用于任何标准电动机 4. 维护简单	1. 起动电流大 2. 起动转矩大 3. 会对被驱动设备造成冲击
定子电阻减压起动	刚开始起动时先对电机串接一个电阻单元	50%~80%	25%~64%	关闭	1. 能够平滑起动 2. 对起动机的振动小 3. 应用最灵活 4. 适应于任何标准电动机	1. 由于电阻发热所以会产生更大的能量损耗 2. 必须进行散热 3. 每安培输入的转矩小 4. 成本高
自耦变压器减压起动	用自耦变压器来降低电动机上所加的电压，其中抽头位置分别为：50%，65%，80%	25% 42% 64%	25% 42% 64%	关闭	1. 适合用在难以起动的负载上 2. 起动转矩可调 3. 适用于任何标准电动机 4. 电动机受力小	1. 会对被驱动设备造成冲击 2. 成本高
Y-Δ 起动	起动时采用Y联结，运行时切换成Δ联结	33%	33%	开启或关闭	1. 成本中等 2. 起动电流小 3. 起动转矩小 4. 电动机受力小	1. 起动转矩小 2. 仅适用于Δ联结的电动机



(续)

起动方法	操作方式	起动电流与堵转电流之比	起动转矩与堵转转矩之比	开启或关闭切换	基本特征	
					优点	缺点
部分绕组起动	起动时仅连接部分绕组，运行时加入其他绕组	70%~80%	50%~60%，最小起动转矩为额定转矩的 35%	关闭	1. 成本低 2. 在中等起动转矩中应用广泛 3. 维护简单	1. 不利于频繁起动 2. 可能需要特殊的绕组电动机 3. 低起动转矩 4. 带载起动时，不能立即加速

注：表中所示的由各种方法所减小的起动转矩（LRT）可以防止起动高惯量负载，在调整电动机和选择起动器时必须考虑。

当电动机减压起动时，电动机端子的电流正比于电压降，转矩则按电压降的平方下降。例如，如果“典型”电动机在 65% 的线电压下起动，那么起动电流是全压起动时电流的 42%，扭矩是全压起动转矩的 42%。由此可见，降低电压进行起动是减少起动电流和转矩的一种有效手段（见图 12-19）。

12.12 定子电阻起动

在定子电阻起动中，把一个电阻器连接到每个电动机的定子端线上（单相起动器只有一条端线上连接）以产生由于电动机的起动电流而导致的电压降。电动机加速后，定时继电器会使电阻短接。因此，电动机在低电压下起动，而运行于正常线电压下。

图 12-16 所示为两种类型的电动机起动电阻器。在反复加热和冷却后，电阻元件仍将保持其机械和电气性能。为了整体防腐蚀，所有的金属部件都是电镀的或由耐腐蚀材料制成的。一定条件下，工作温度可达到 600℃并且不会改变电阻值。电动机起动电阻器的长度有 11、14、17 和 20in，而额定功率等级为 450~1320W。表 12-3 显示了电阻范围和其他参数。注意电阻器工作电流的范围。

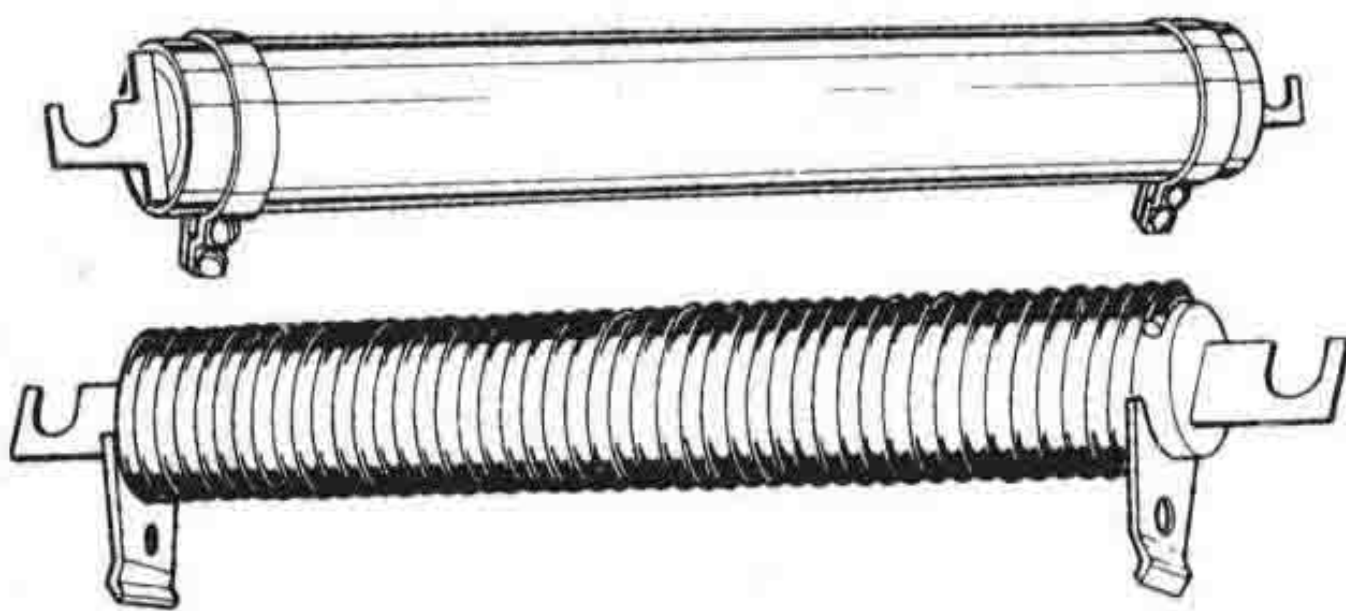


图 12-16 用于定子电阻起动器电路中的绕线电阻（Westinghouse 产品）

表 12-3 电阻取值范围和属性

大电流小电阻				小电流大电阻		
单位长度 (in)	电阻范围 (Ω)	电流范围 (A)	单位散热量 (W <sup>①</sup> )	电阻范围 (Ω)	电流范围 (A)	单位散热量 (W <sup>①</sup> )
11	0.051~433	11~104	450~630	4.0~2000	0.46~10.3	426
14	0.069~5.7	11~104	620~820	5.0~2500	0.46~10.8	575
17	0.085~7.1	11~104	770~1080	5.0~2500	0.53~12.0	700
20	0.10~8.6	11~104	900~1320	6.4~4000	0.47~11.8	900

①仅为近似值。

定子电阻起动器有时称为缓冲起动器。起这个名字的主要原因是其在闭路转换中有产生平滑缓冲加速度的能力。虽然这种方法不如其他减压起动的方法有效，但它非常适合那些要首先考虑降低起动转矩的应用场合中，如传送带、纺织机或其他精密的机械。



操作

图 12-17 所示为减压电磁起动器，它是采用电阻来起动三相电动机的。图 12-18 所示为采用串联起动电阻实现减压起动的电路。按下起动按钮或其他起动控制装置给起动接触器 S 通电，这时起动接触器 S 的自锁触点 Sa 闭合，时间继电器 TR 得电，定时结束后，延时触点 TR<sub>TC</sub> 闭合，这使运行接触器 Run 得电，它通过自锁触点 (Run<sub>a</sub>) 闭合。触点 (Run) 闭合，绕过起动电阻，电动机将在全压下运行。起动接触器 S 和时间继电器 TR 由于触点 Run<sub>b</sub> 断开而失电。

过载会导致停止按钮或其他控制装置断开，使运行 (Run) 接触器失电，电动机被切除。

在电动机加速过程中，由于加在电动机端子上的电压是逐渐增大的，因此定子电阻的起动特性非常平滑。因为电动机的电流随着速度的增加而减小，所以随着电动机的加速起动电阻上的电压会降低，电动机的端电压增加。这样，当电动机达到最大速度时，如果起动电阻被短接绕过，那么电流或转矩会增大很少或根本不增大。

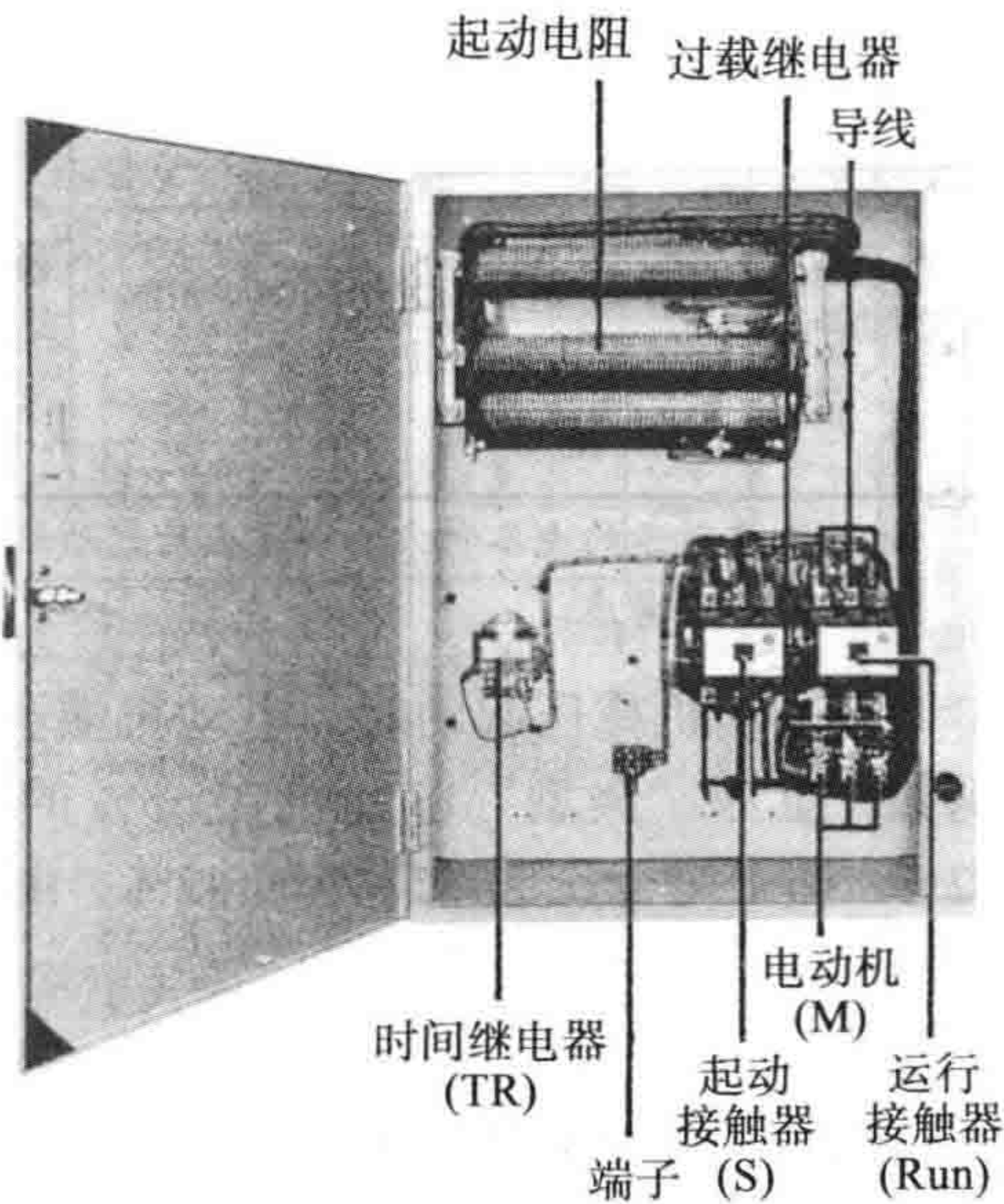


图 12-17 定子电阻电磁起动器 (Westinghouse 产品)

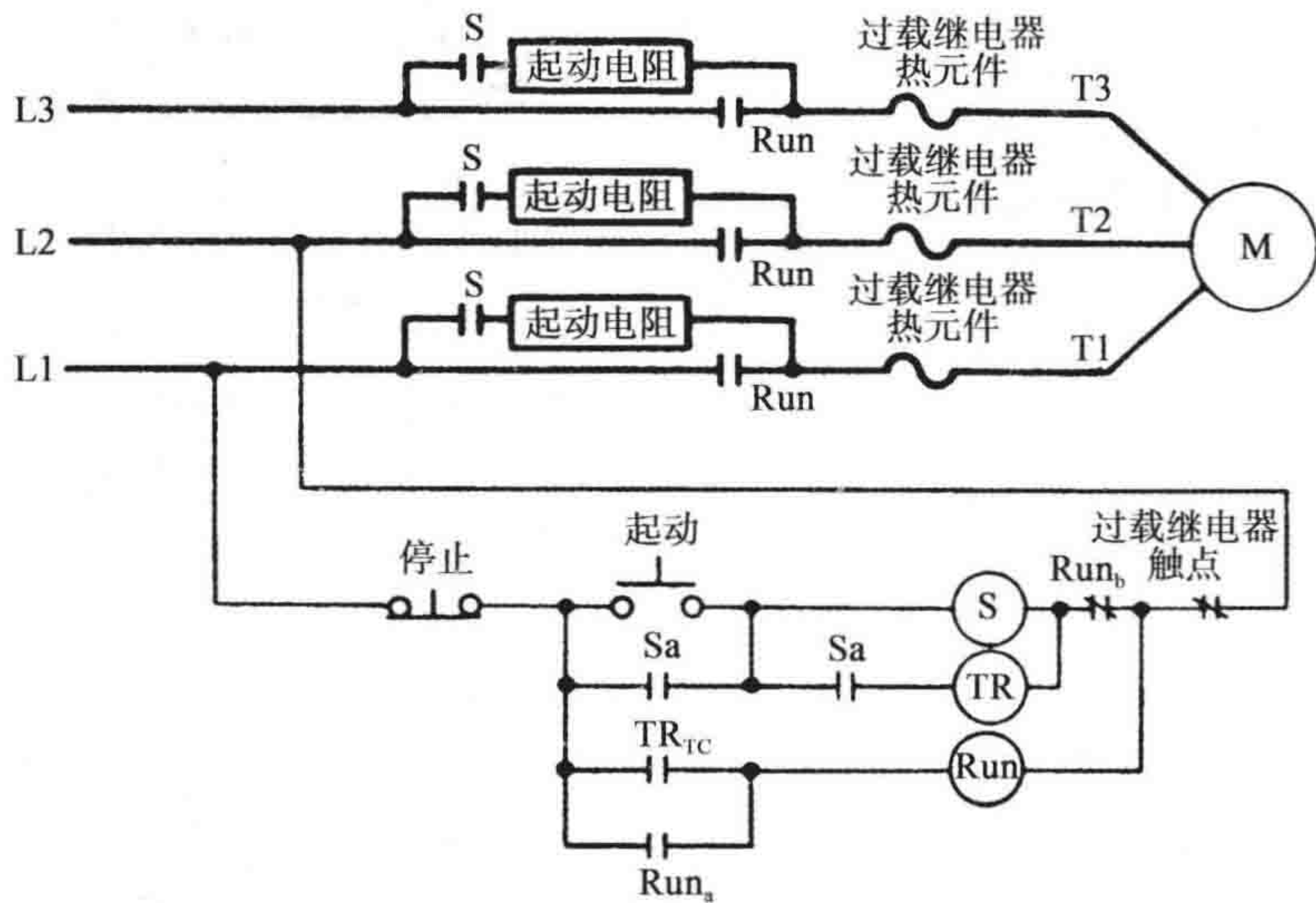


图 12-18 定子电阻起动器的接线图 (Westinghouse 产品)

12.13 自耦变压器起动

自耦变压器起动器是通过在电动机端子处使用带抽头的三相自耦变压器来实现减压起动的。根据控制装置的不同，闭合一个两极或三极接触器以连接电动机到预先选定的自耦变压器抽头上。不需要切断电动机电源，一个时间继电器就可以使电动机从减压起动状态转换到线路全电压运行状态，这称为闭路的起动转换。

自耦变压器的抽头提供了 50%、65% 或 80% 的线电压作为起动电压。起动转矩分别为



线电压的 25%、42% 或 64%。然而，由于变压器的作用，控制器的线电流将小于电动机的电流，即全压值的 25%、42% 或 64%。这种自耦变压器起动可以提供最小线电流下的最大转矩，同时抽头还允许这两种因素发生变化。图 12-19 显示了转矩和电压抽头点。

当驱动负载的特性或电力公司限制要求减压起动时，手动自耦变压器起动器可以起动笼型三相电动机（见图 12-20）。

美国电气制造商协会（NEMA）允许每 4 分钟起动一次，起动 4 次后必须休息两个小时，每次起动时间不超过 15s。图 12-21 所示为自耦变压器起动器，注意起动变压器抽头的位置。

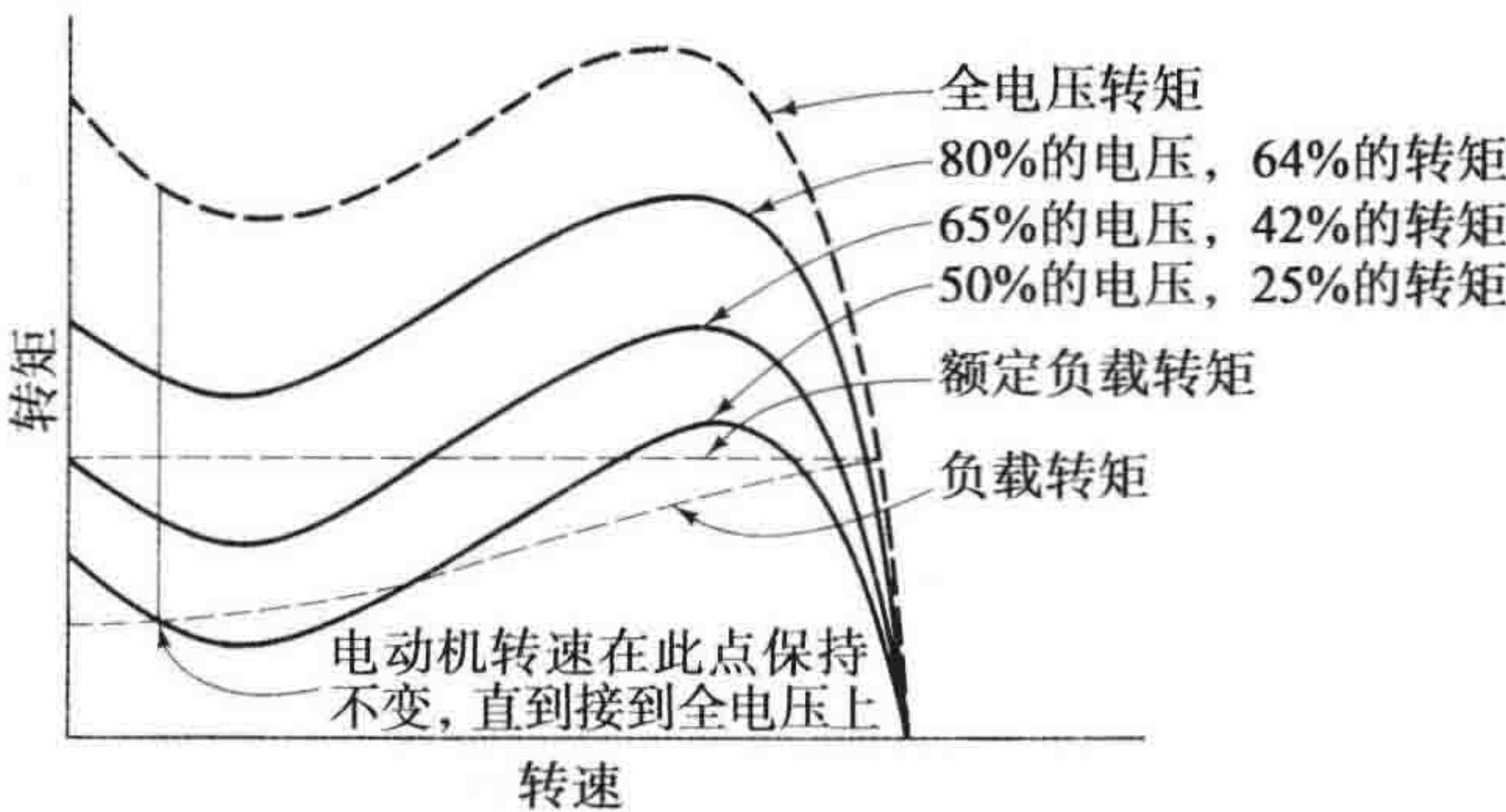
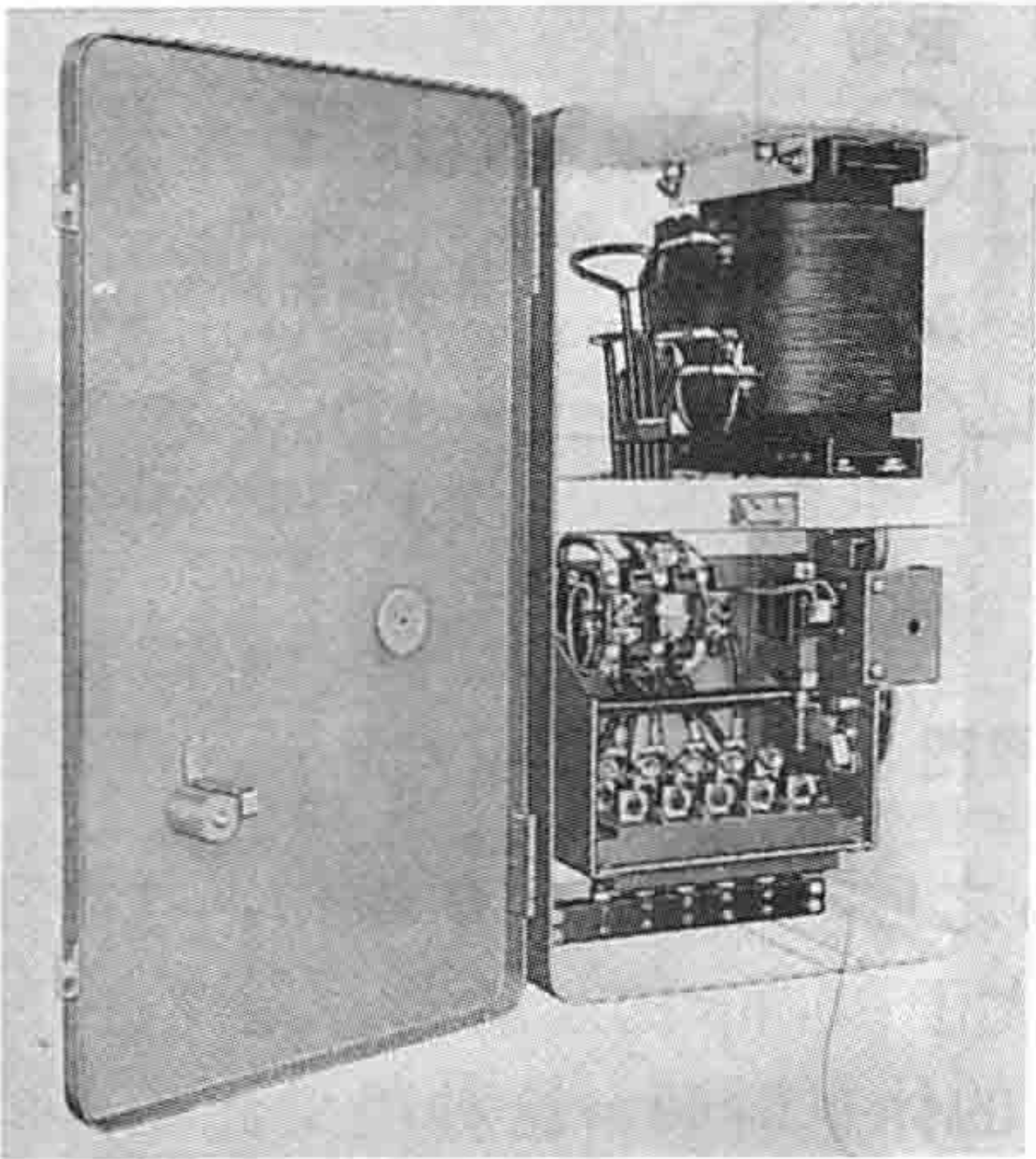
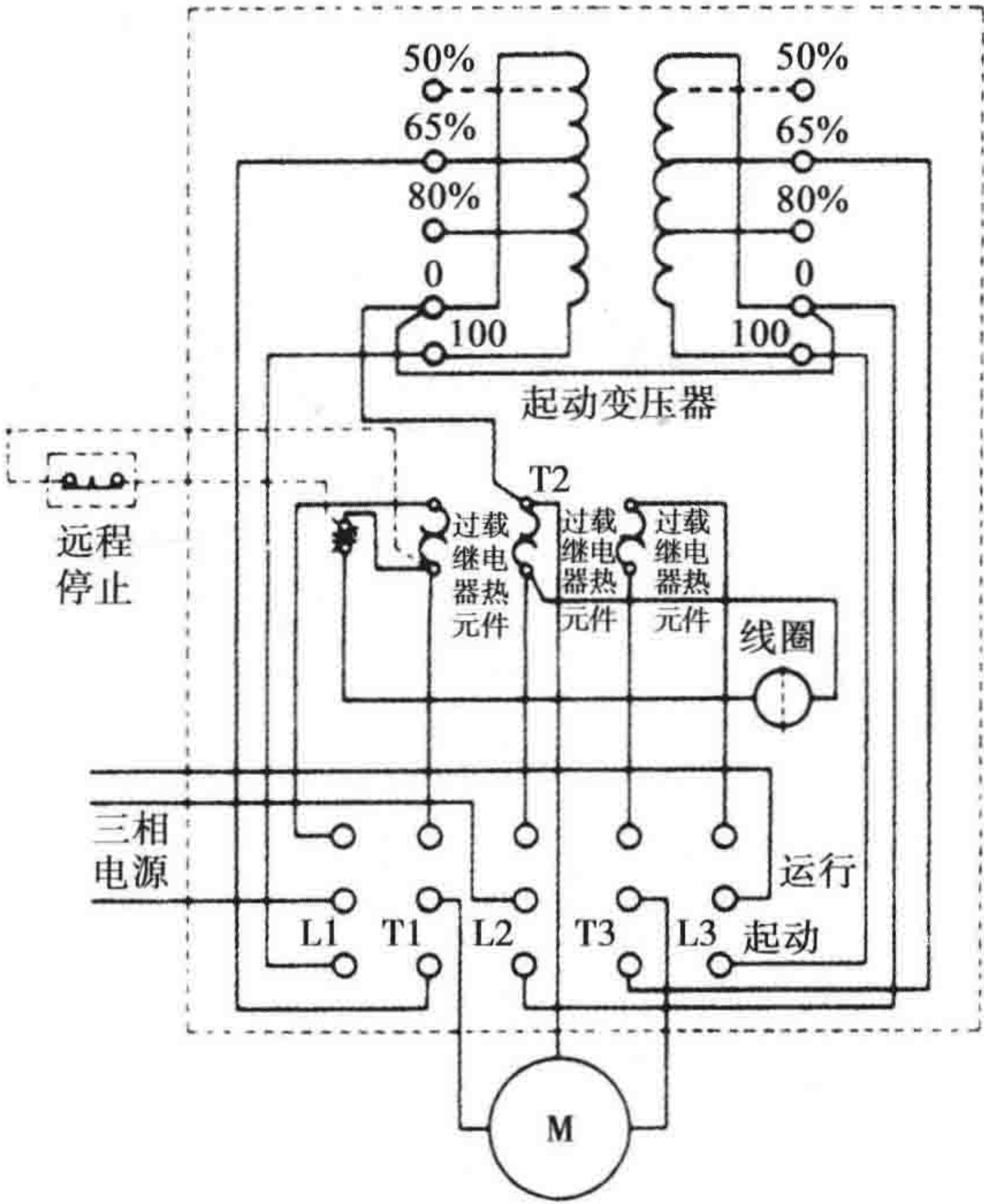


图 12-19 自耦变压器起动转速与转矩的对应关系  
(Lincoln 电气公司产品)



a) 自耦变压器电磁起动器



b) 相应的接线图

图 12-20 自耦变压器电磁起动器（Allen-Bradley 产品）

自耦变压器提供线电流对应的最高转矩。因此，当想牺牲最小起动转矩以减小冲击电流时，它是一种有效的起动方式。这种类型的起动装置的特点为闭路转换，即当电动机从减压起动状态转换到全压状态时保持连续的供电。这种方式在提供平滑加速的同时，避免了使用开路转换时产生的高暂态开关电流。

**操作**  
操作外部起动按钮或控制装置起动接触器和闭合自耦变压器的中性点（如图 12-21 中所示的 1S），通过自耦变压器将降低后的电压施加给电动机。经过预设的一段时间后，定时器的触



点退出中性点接触器，阻断了自耦变压器的连接但留下了部分绕组串联到电动机绕组上。然后运行接触器闭合（如图 12-21 所示的接触器 R）的触点短接跨过这一电阻并给电动机施加全压。至此，在不断开电动机电路的情况下该操作实现了减压起动状态到全压运行状态的转换。

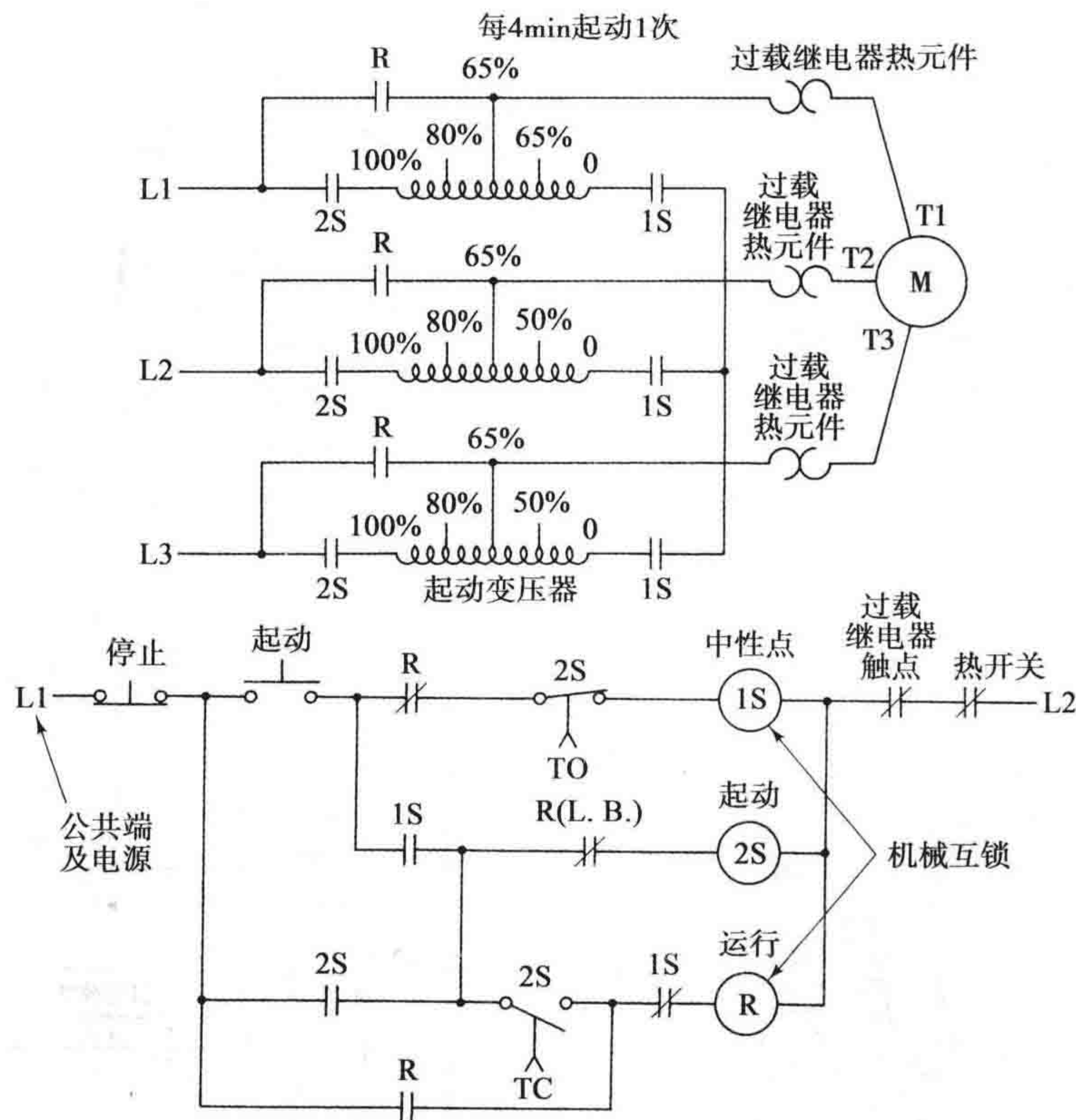


图 12-21 自耦变压器减压起动器的典型接线图 (Allen-Bradley 产品)

对于额定功率小于 200hp 的起动器，允许每 4min 之后有一个 15s 的操作。这个过程服从于 1h 操作须有 2h 休息时间的原则。对于额定功率大于 200hp 的起动器，允许有三个 30s 的操作，每两次操作之间的间隔为 30s，之后需要 1h 的休息时间。这种类型起动器的主要缺点是较低的额定功率和较低的功率因数。

12.14 部分绕组起动

部分绕组电动机有两组相同的绕组，正常情况下它们并联运行，在起动时可依次通电，从而减少起动电流，降低起动转矩。大多数（但不是全部）双电压 230V/460V 电动机在 230V 时适合使用部分绕组起动。

当部分绕组电动机的一个绕组通电时，电动机产生的转矩大概是“两个绕组”的 50%，线电流为全压值时电流的 60% 到 70%（取决于电动机的设计）。因此，虽然部分绕组起动并不是真正降低电压的方法，但通常也将它归入此类，由于实际上它减小了起动电流和转矩。

一个具有三极起动接触器和三极运行接触器并且运行电压为 230V 的双电压三角形联结电动机，在使用部分绕组起动时，正常操作情况下会产生不平衡电流，从而导致起动接触器过载。为了克服这一缺陷，有些部分绕组起动器使用一个四极起动接触器和一个两极运行接



触器。这种设计消除了三角形绕线接线电动机中产生的不平衡电流，也使星形联结的部分绕组电动机可以使用 1/2 或 2/3 部分绕组起动。

8640 类起动器有一个起动接触器、一个时间继电器、一个运行接触器和一些必要的过载继电器（缩写为 OL 或 O.L.）。闭合起动控制装置的触点，并接通起动绕组和初始化循环周期。在预定的延迟后，运行接触器得电，其触点闭合连接电动机的剩余绕组，时间延迟建议设置为 1s。大多数电动机制造商不允许起动绕组单独通电时间超过 3s，部分绕组起动器可以提供闭路的转换起动。

12.14.1 操作

部分绕组起动器如图 12-22 所示，它的作用主要方便理解操作。如图 12-23 所示，你可以看到起动器是如何操作的。按下起动按钮或其他控制装置，起动接触器（1M）得电，1M 自锁触点（1M<sub>a</sub>）闭合，时间继电器（TR）得电，定时开始。接触器（1M）的触点连接了电动机的一半绕组。时间继电器定时结束后，时间继电器的触点（TR<sub>T.C.</sub>）闭合，接触器（2M）得电。接触器（2M）的触点跨接到电动机的另一半绕组上。

过载会导致停止按钮断开或其他控制装置断开，使接触器 1M、2M 和时间继电器 TR 失电，从而切除电动机。三极接触器（1M）仅在起动时连接电动机的一半绕组以降低起动时的冲击电流，三极接触器（2M）在运行时连接电动机的另一半绕组。

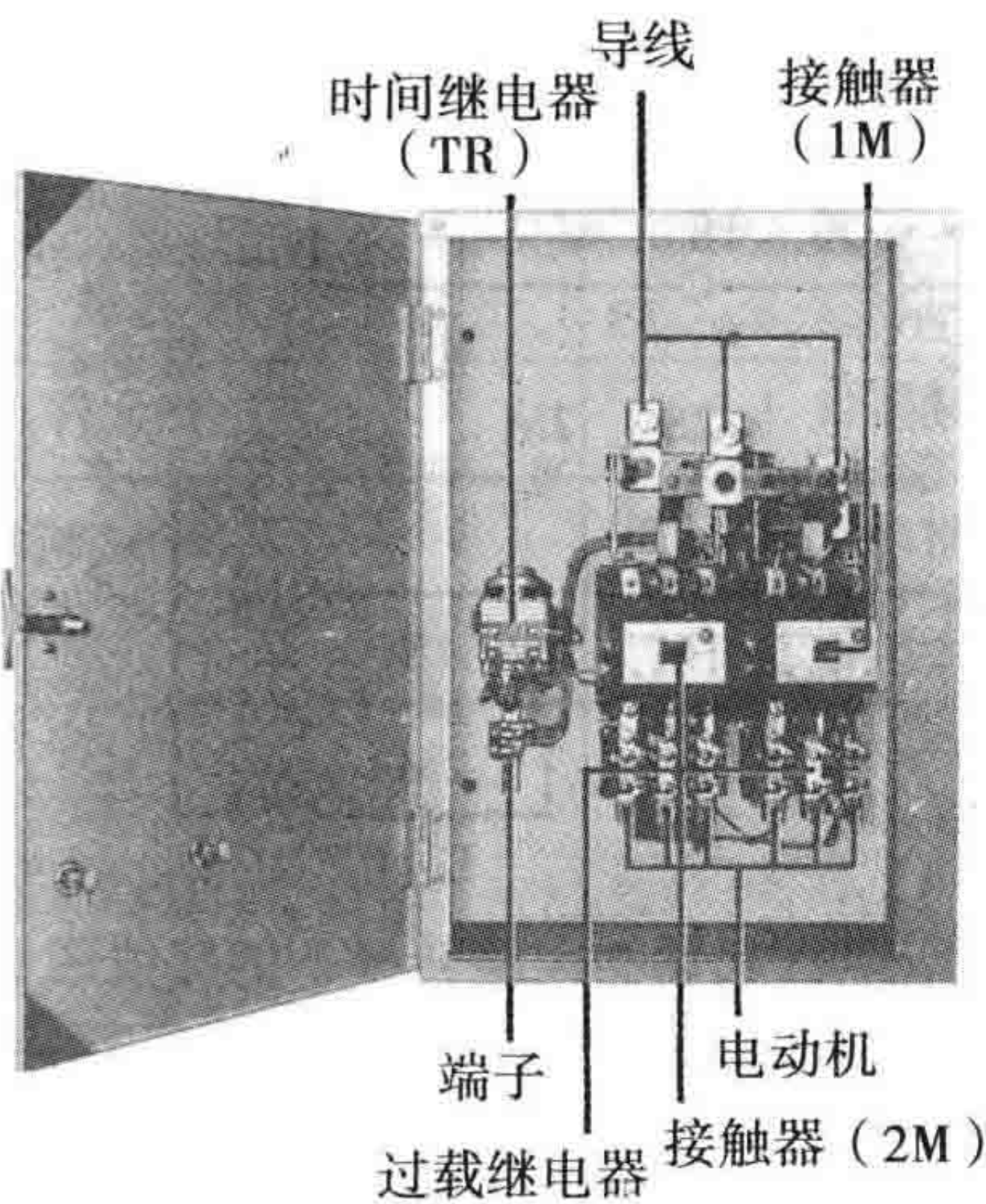


图 12-22 部分绕组式电磁起动器 (Westinghouse 产品)

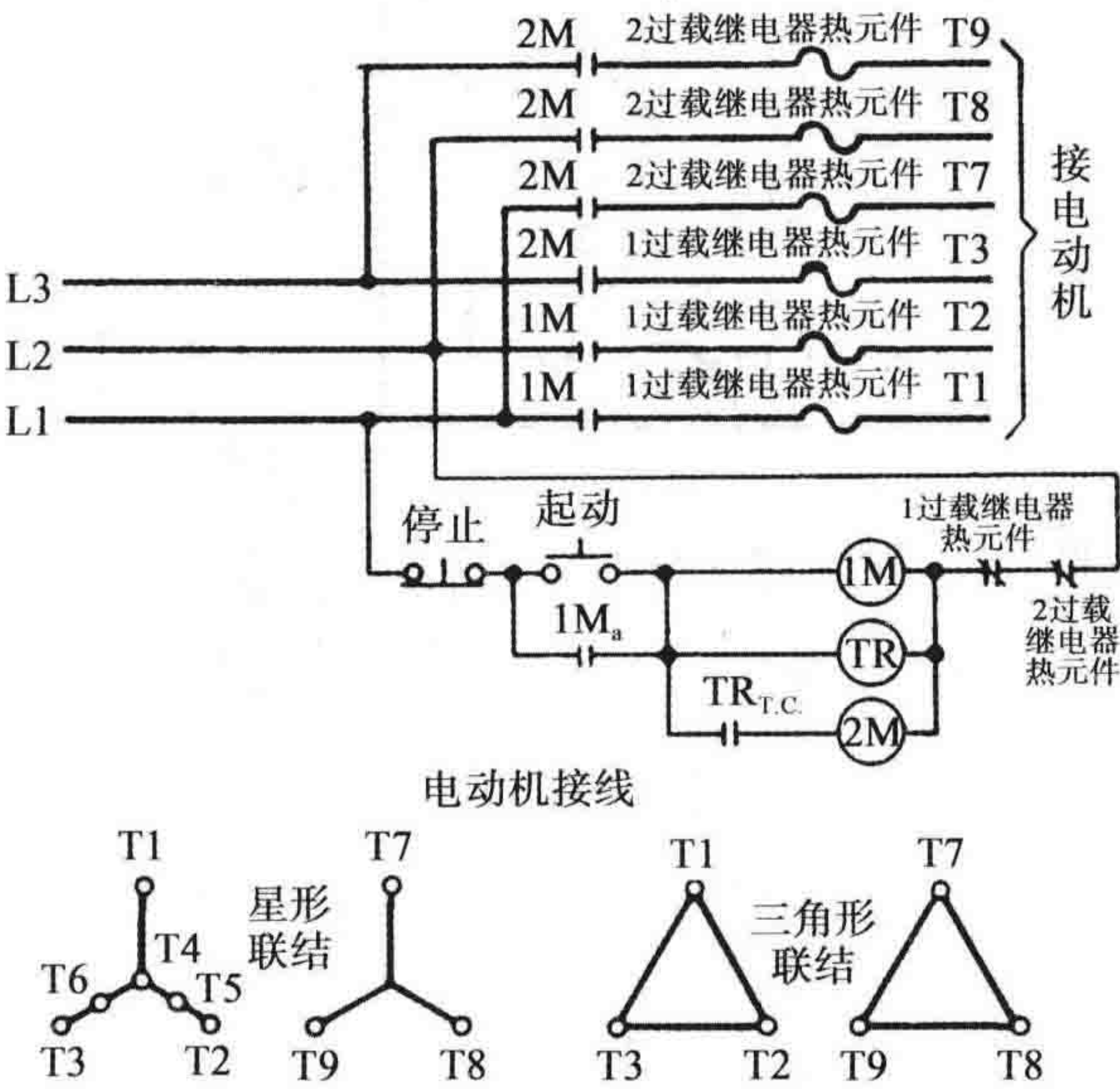


图 12-23 部分绕组式起动器的典型接线图 (Westinghouse 产品)

12.14.2 优点和缺点

部分绕组起动器是成本最低的减压控制器。它们采用了闭路转换的起动方式，并且体积很小。缺点是它们不适合长时间加速或频繁起动，电动机需要特殊的设计，并且不能灵活选择起动特性。

12.15 Y-Δ 起动器

Y-Δ 起动器应用在三角形绕组接线笼型电动机中，其所有的引出线形成星形联结以实



现减压起动。这种方法特别适用于起动时间长或频繁起动的应用场合。星-三角起动器通常用于有大惯性负载的电动机（如离心式空调机组）中，在要求起动转矩较低或要求起动电流较低同时允许起动转矩较低的情况下，该方法也是适用的。

当 6 引线或 12 引线三角形联结电动机以星形联结方式起动时，约 58% 的全压值施加到每个绕组上，电动机产生 33% 的全压起动转矩以及 33% 的正常堵转电流。当电动机加速后，它重新连接成正常的三角形来运行。

12.15.1 操作

操作外部起动按钮使星形联结的电动机通电（见图 12-24），这将施加 58% 的全压值到绕组上。在这一减压状态下，电动机会产生 33% 的全压起动转矩以及 33% 的正常堵转电流。在经过一个可调的时间间隔后，电动机会自动连接成三角形，给绕组施加全压。以开路转换方式起动时，电动机从星形到三角形进行转换时会暂时断电。在闭路转换方式下（见图 12-25），电动机通过电阻保持连接使绕组始终处于通电状态，这避免了开路转换引起的电流冲击。

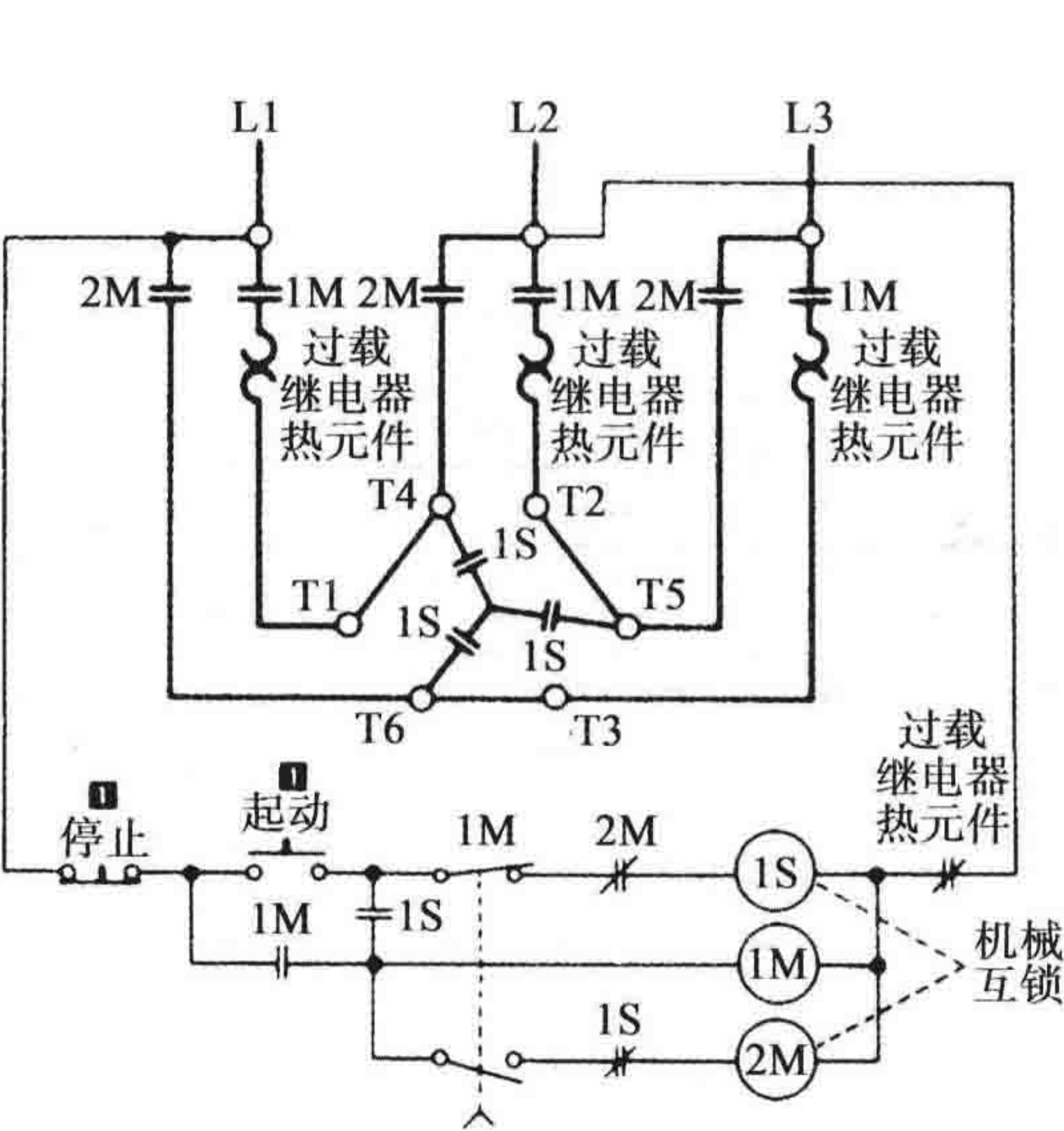


图 12-24 Y-Δ 起动器开路转换下的接线图 (Allen-Bradley 产品)

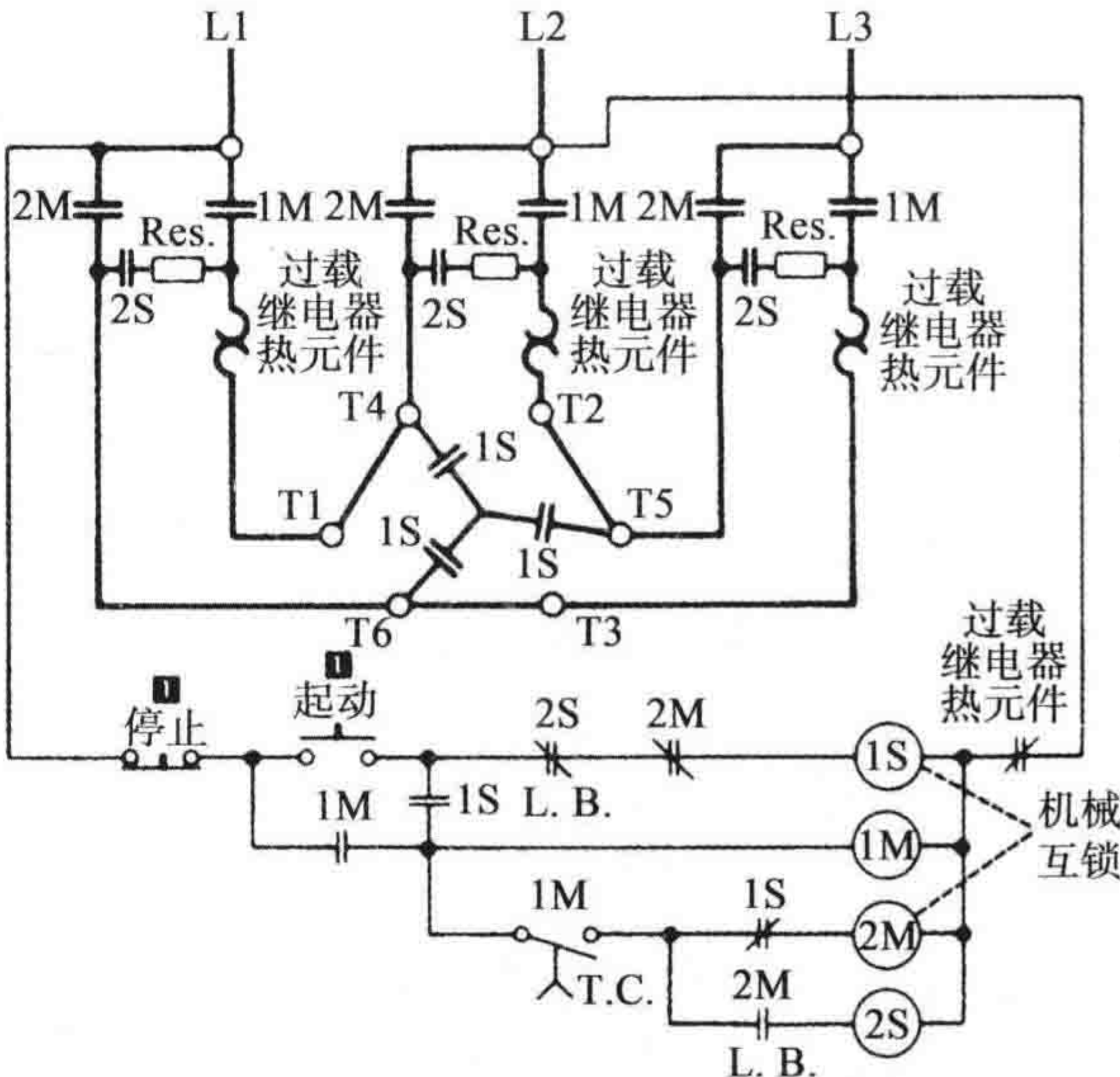


图 12-25 典型 Y-Δ 起动器闭路转换下的接线图 (Allen-Bradley 产品)

12.15.2 优点和缺点

这种起动方式的优点是成本适中、传动效率高，它适合惯性大、加速时间长的负载。然而，缺点是它需要对电动机进行特殊的设计，起动转矩低，不能灵活选择起动特性。本质上，它是开路转换，闭路转换会增加成本。

12.15.3 Y-Δ 联结

图 12-26 显示了对于一台 12 引线电动机采用了 Y-Δ 联结的起动器，它可在低电压或高电压下开始运行。6 引线单电压电动机也适用于星-三角起动。图 12-26b 所示为 6 引线电动机的接线图。需要牢记，过载继电保护是美国国家电气规程（NEC）要求的，而保护的规格是由电动机制造商决定的（参见表 12-4）。



Y-Δ联结

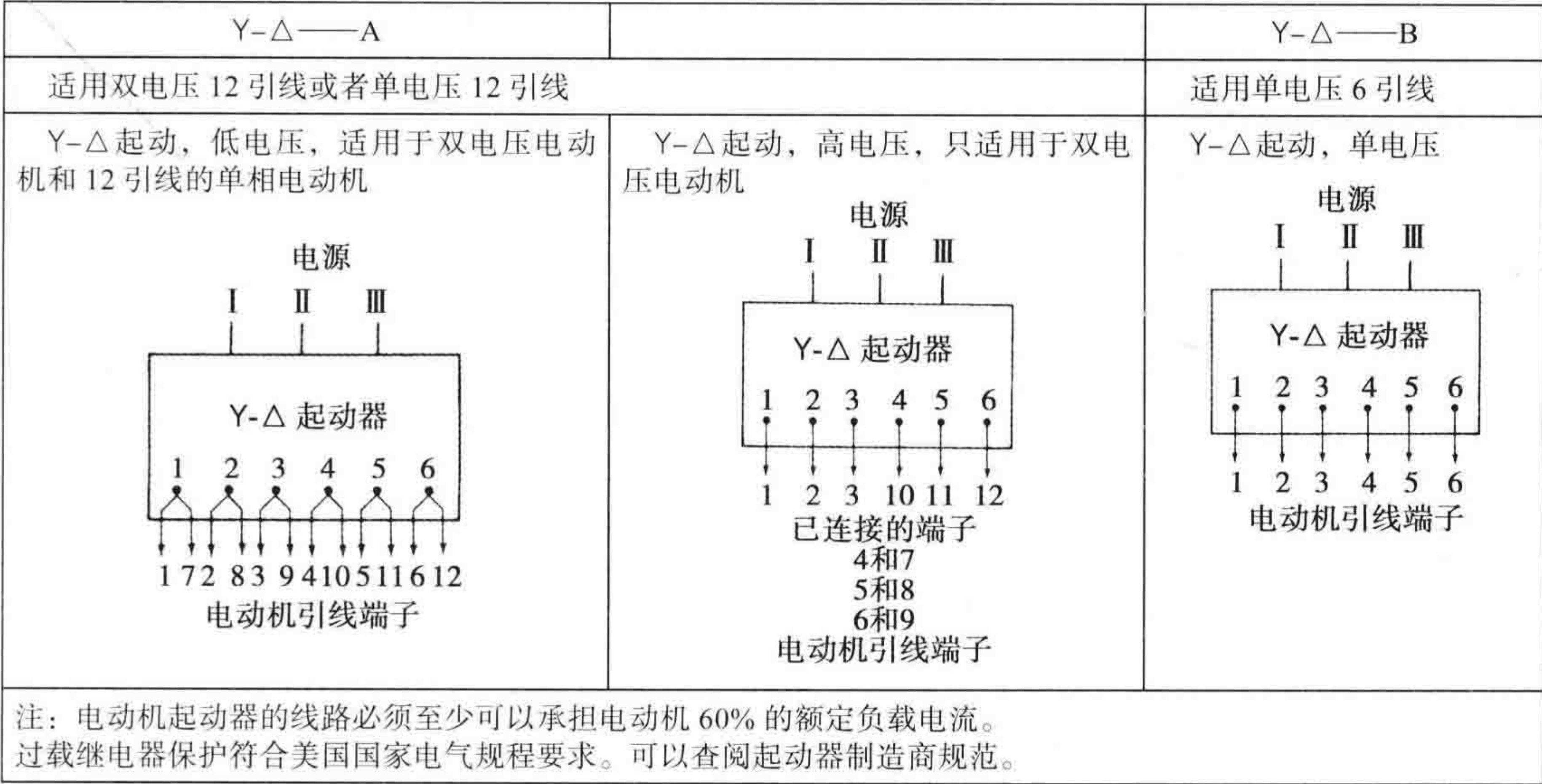


图 12-26 Y-Δ联结 (Lincoln Electric 公司产品)

表 12-4 选择最适合控制器的对应特征

典型需求	使用的起动器类型 (按起动难易程度排序)	评价
平缓加速	1. 固态 8660 型 2. 定子电阻 8647 型 3. Y-Δ 8630 型 4. 自耦变压器 8606 型 5. 部分绕组 8640 型	很少选择 3 和 4
最小起动电流	1. 自耦变压器 8660 型 2. 固态 8660 型 3. Y-Δ 8630 型 4. 部分绕组 8640 型 5. 定子电阻 8647 型	
高起动转矩	1. 自耦变压器 8606 型 2. 固态 8660 型 3. 定子电阻 8647 型 4. 部分绕组 8647 型 5. Y-Δ 8630 型	
高转矩效率 (转矩与起动电流相比)	1. 自耦变压器 8606 型 2. Y-Δ 8630 型 3. 部分绕组 8640 型 4. 固态 8660 型 5. 定子电阻 8647 型	很少选择 3、4 和 5
长时间加速	1. Y-Δ 8630 型 2. 自耦变压器 8606 型 3. 固态 8660 型 4. 定子电阻 8647 型	加速时间大于 5s 定子电阻器需要非标电阻 部分绕组控制器的加速时间不适合超过 2s
频繁起动	1. Y-Δ 8630 型 2. 固态 8660 型 3. 定子电阻 8647 型 4. 自耦变压器 8606 型	部分绕组不适合频繁起动
灵活选择起动方式	1. 固态 8660 型 2. 自耦变压器 8606 型 3. 定子电阻 8647 型	对于定子电阻，电阻变化会改变起动特性。对于星形三角形和部分电阻起动特性不会改变

来源：资料由 Square D 提供。



12.16 多速起动器

多速起动器是专为双速变极或分离绕组的笼型电动机的自动控制而设计的。这些起动器可供恒功率、恒转矩或可变转矩的三相电动机来使用。多速电动机起动器常用在机床、风扇、鼓风机、制冷压缩机以及许多其他类型的设备中。

12.16.1 低速闭锁继电器

当低速闭锁继电器加入到标准起动器上时，它总是迫使操作者在切换到一个更高的速度前以较低的转速起动电动机。这是一个安全特性，因为电动机在高速起动时可能会导致设备损坏（见图 12-27）。

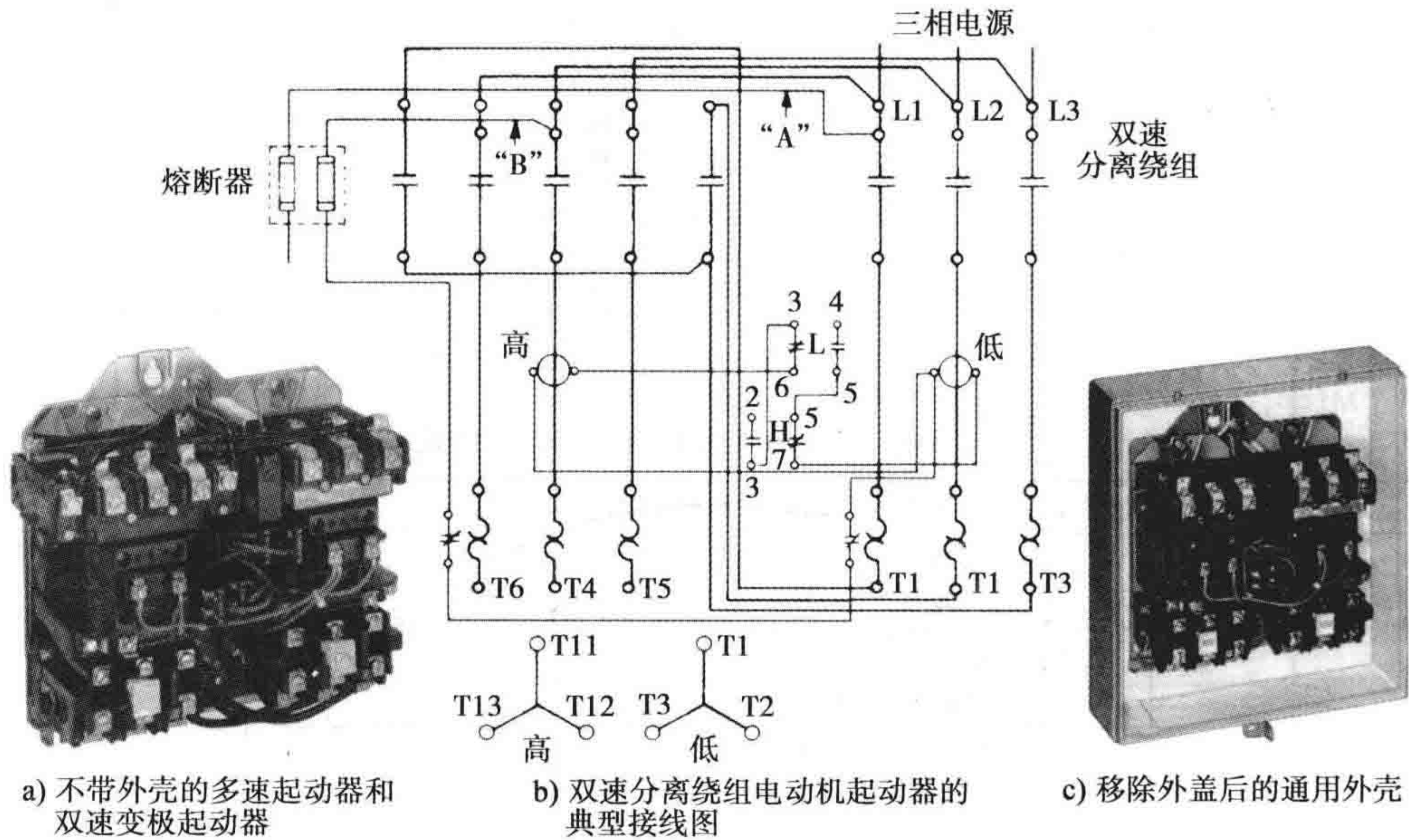


图 12-27 多速起动器（Allen-Bradley 产品）

12.16.2 自动顺序加速继电器

自动顺序加速继电器将控制从低速到高速的加速顺序。

12.16.3 自动顺序减速继电器

自动顺序减速继电器用在大惯性负载中。由高速突然变化到低速的制动可能会导致电动机或其驱动的机器损坏。为了避免这种危险，操作时应给予电动机充分的时间使其转速慢下来，手动办法是按下停止按钮后，等待一个短的时间间隔再按下一个较低速度的按钮。

为了提供正确的操作，多速起动器可以为每一个降低速度的步骤都配备自动顺序减速继电器。该继电器会自动设置不同速度之间的时间延迟，当需要切换到一个较低的速度时，可直接按下该速度按钮而不需要先按下停止按钮。

12.17 变极式电动机控制器

通过增加电动机的极数，有可能改变电动机的转速。通过增加极数，电动机的转速会降低。由于电动机具有绕组并且安装在固定的机架上，所以磁极及其相关的绕组并不容易被取出或放入。因此，如果想通过改变极数的方法来改变电动机的转速，那么就必须找到改变极



数的电气方法。可能的方法是采用变极式设计，该方法可用于双速、单绕组电动机或四速、双绕组电动机中。

使绕组中部分电流反向和增加或减少极数具有同样的效果。在某种情况下，为了完成绕组的连接，三相电动机绕组一般有 6 个引线端，通过端子组合连接可以实现三角形联结或者星形联结（见图 12-28）。通过绕组抽头，可以在两个方向上传输电流，这样可有效地产生更多的磁极，从而降低了电动机的运行速度。磁极数可以通过半周期反转而加倍，电动机的双速可以通过产生双倍低速运行的磁极数来实现。

图 12-29 解释了对于恒转矩或变转矩控制如何连接控制器以实现变换极数。接线图和梯形图（见图 12-30）说明了该连接方式的操作方法：无论电动机是在高速还是在低速，都可以不先按下停止按钮而直接起动，实现从低到高或由高到低的切换。

起动器接线方式			
转速	电源线 L1, L2, L3	断开	连接
高	T1, T2, T3	T4, T5, T6	无
低	T6, T4, T5	无	T1, T2, T3

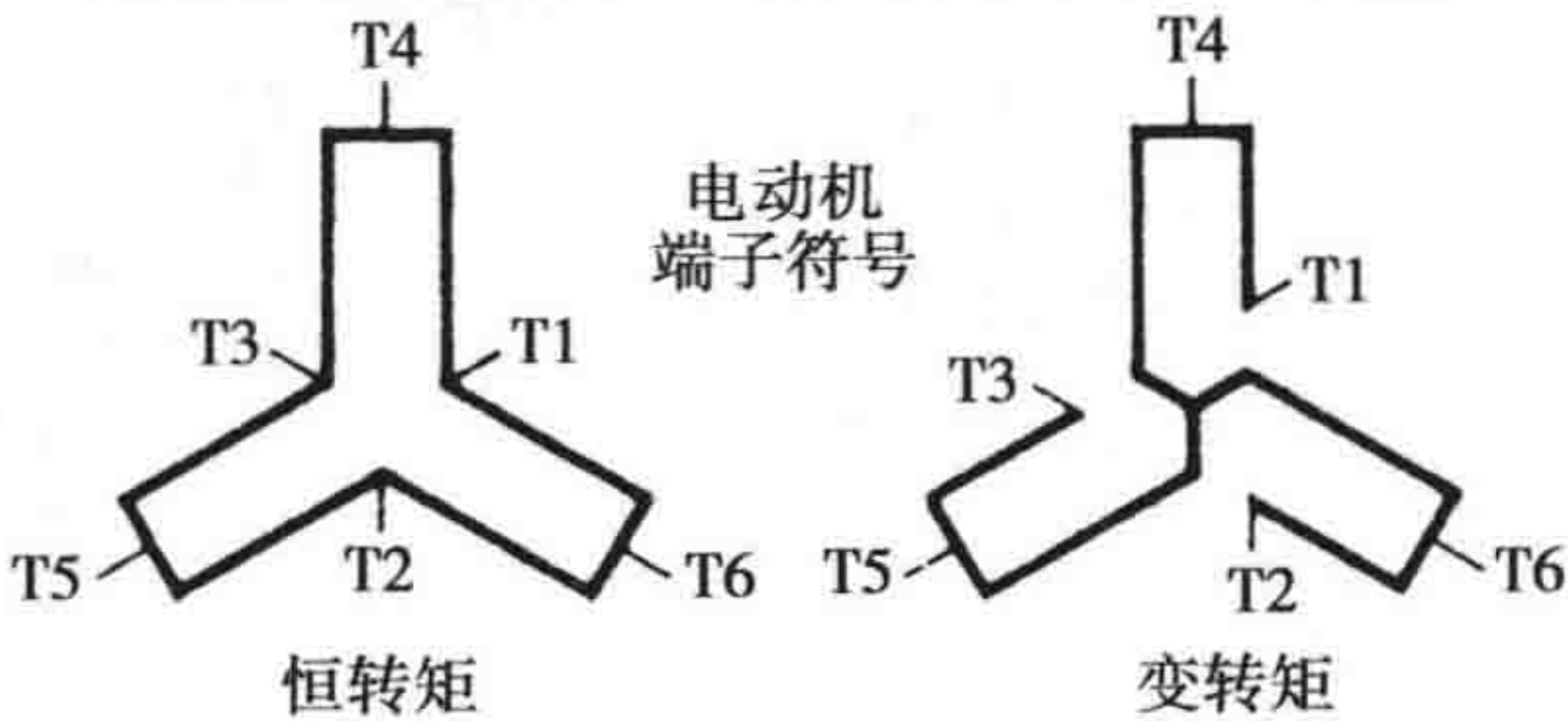


图 12-28 由变极起动器实现的恒转矩或变转矩接线（Allen-Bradley 产品）

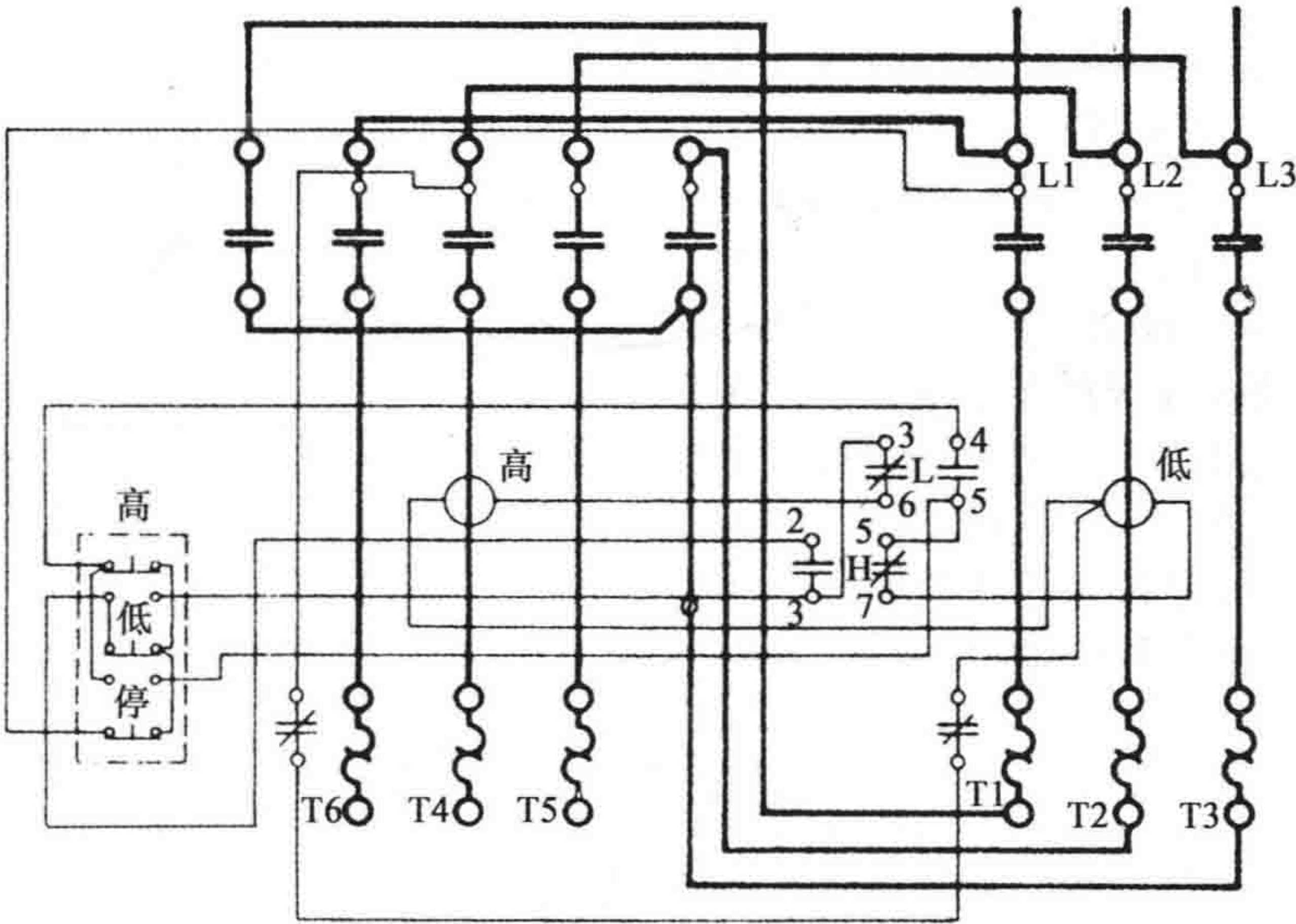


图 12-29 双速变极恒定功率电动机的接线图，NEMA 规格 0~4（Square D 产品）

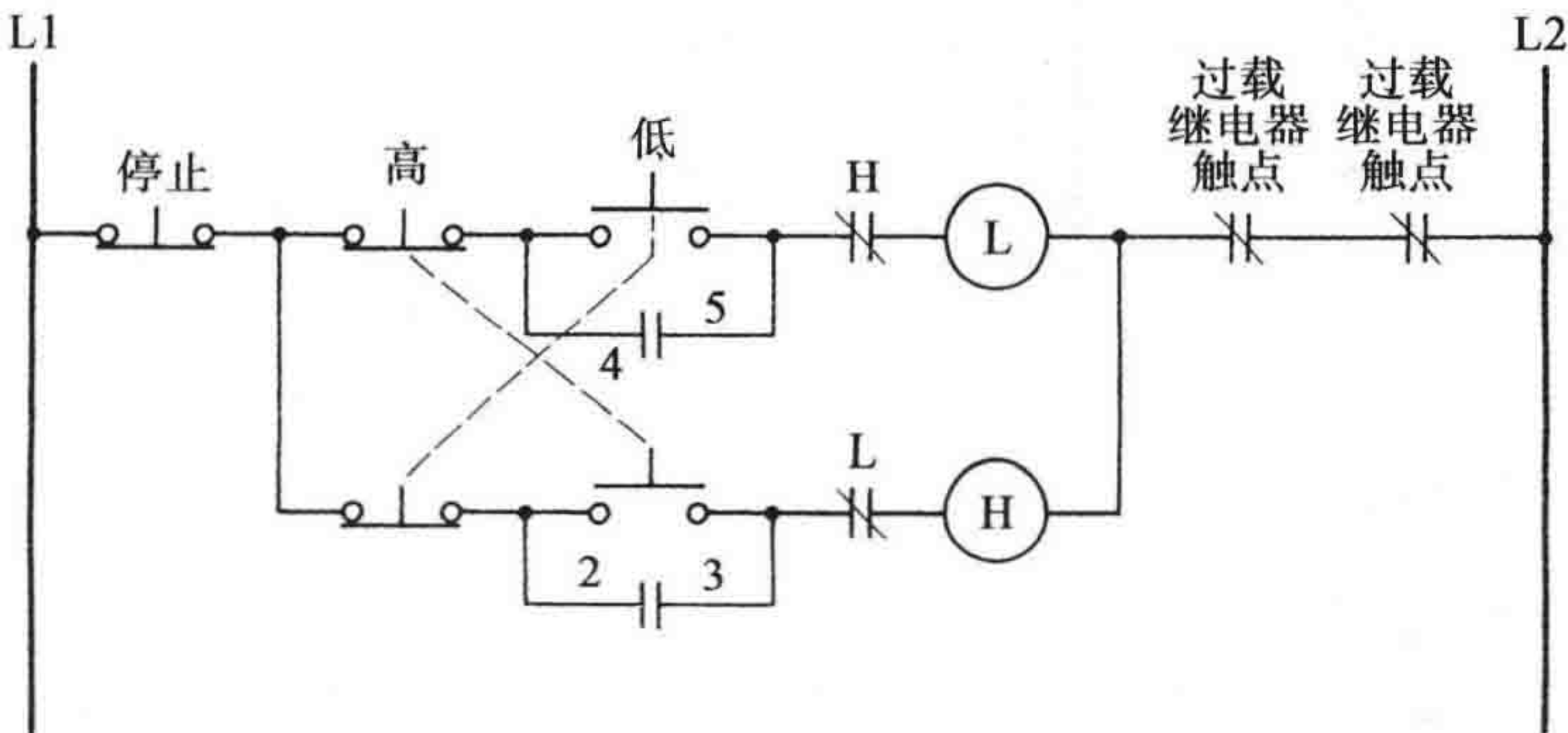


图 12-30 双速电动机的控制原理图（Allen-Bradley 产品）



图 12-31 所示为使用不同控制装置的连接可以得到不同的操作顺序和操作方法。三角形接线也可以产生高转速，这种接法在高速和低速时也能产生同样的额定功率值。

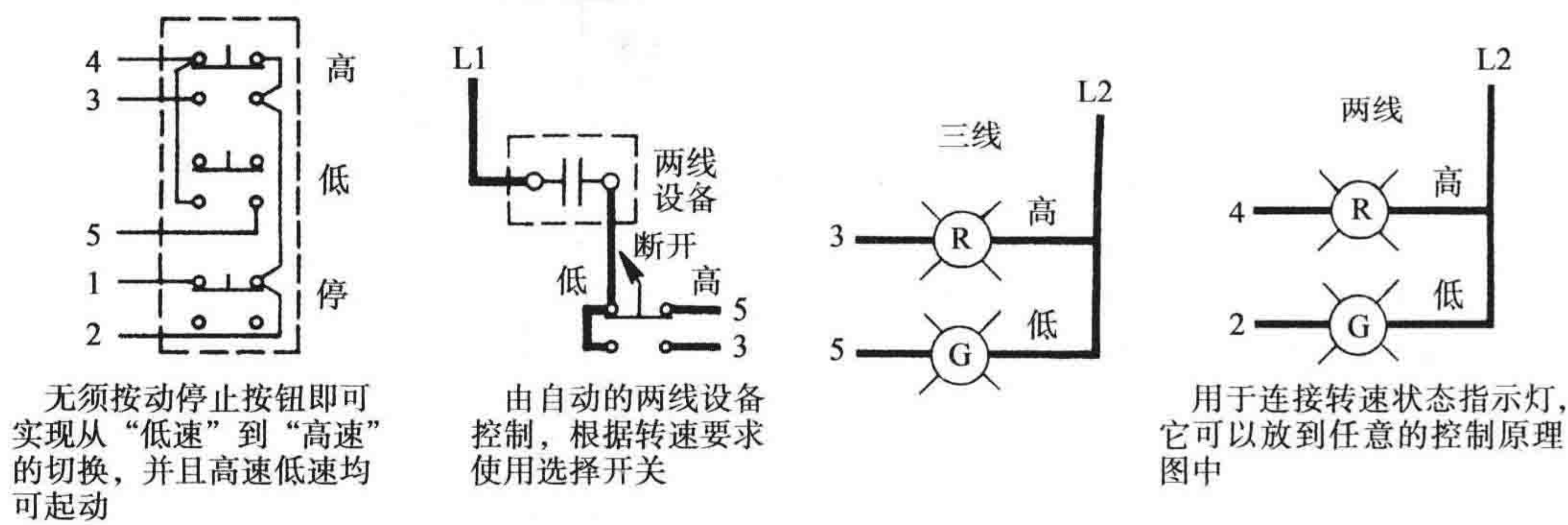


图 12-31 用于显示不同操作顺序和操作方法的设备接线示意图

如果绕组被设计为这样的形式，三角形联结时产生低转速而 Y 形联结时产生高转速，那么这两种转速的扭矩是一样的。变极式电动机对于两种速度只有一个绕组，所以在绕组的中点只有一个抽头，这提供了各种连接的可能性。然而，在转速范围内其转速被限定为 1：2 的比率，即每分钟转数为 600/1200 或 900/1800。

图 12-32 所示为一个恒功率三角形联结电动机端子的符号和连接。接线图（见图 12-33）和梯形图（见图 12-34）说明了如下方法的操作连接：电动机可以在高转速或低转速下起动，从低转速到高转速变化时可以不先按下停止按钮。当切换是从高转速到低转速时，则必须按下停止按钮。图 12-35 所示为控制装置的其他连接，这些连接可以获得不同的操作序列和操作方法。

起动器的接线方式			
转速	电源线 L1, L2, L3	断开	连接
高速	T1, T2, T3	无	T4, T5, T6
低速	T6, T4, T5	T1, T2, T3	无

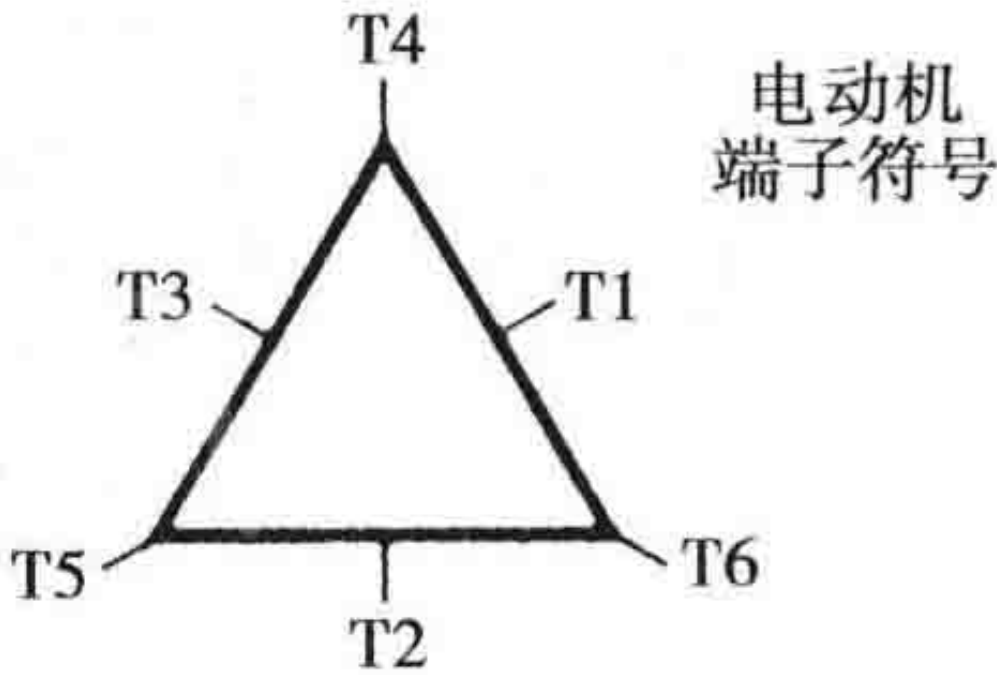


图 12-32 由起动器实现的恒功率接线 (Allen-Bradley 产品)

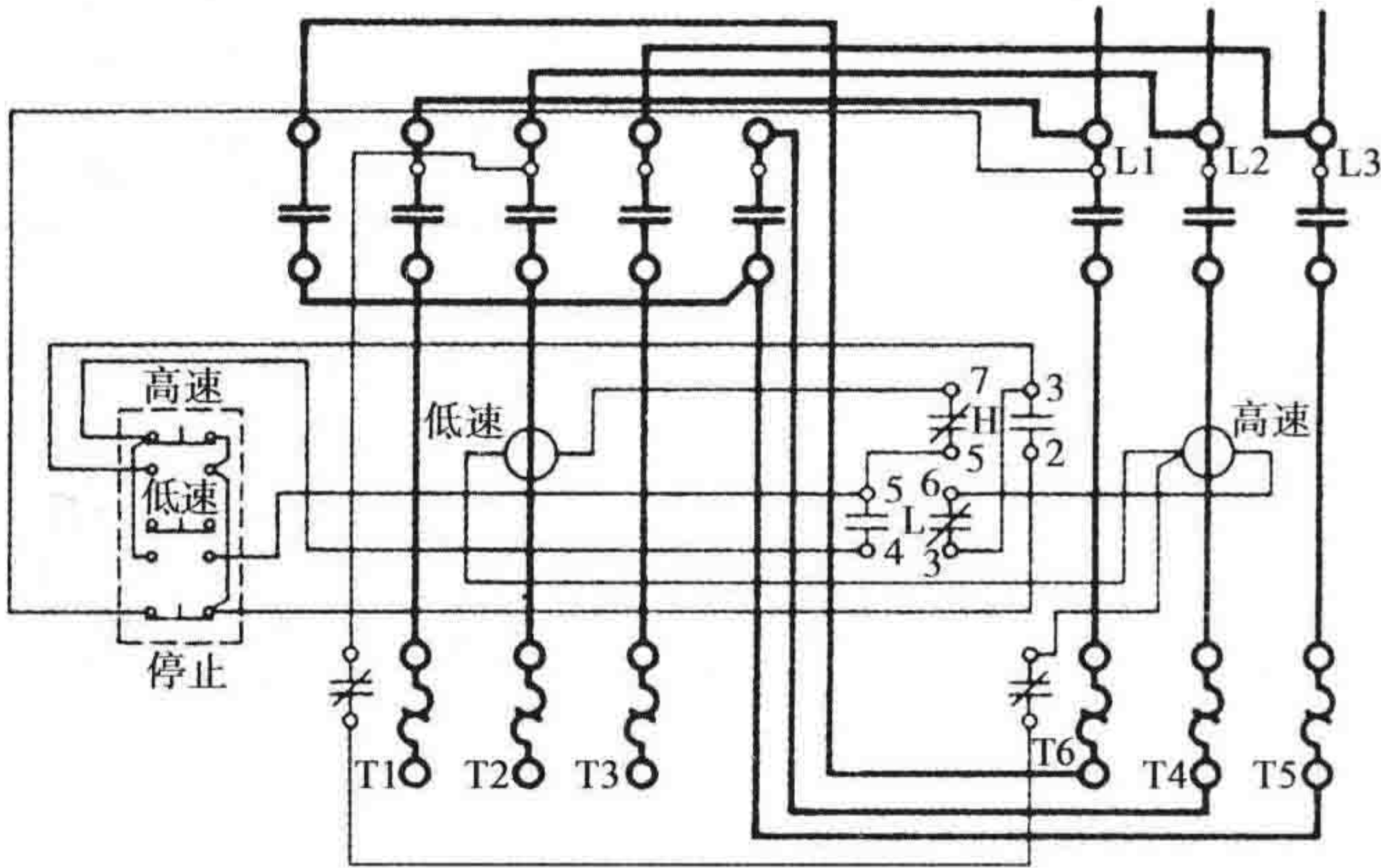


图 12-33 双速变极恒转矩或变转矩电动机起动器的接线图，NEMA 规格 0~4 (Square D 产品)

四速双绕组变极式电动机控制器可用于有两个可重连接绕组的笼型电动机，对于这两个绕组而言，每个绕组支持两个转速。这种类型的电动机需要特殊的起动顺序。这意味着它必须用闭锁继电器、加速和减速继电器来使其运行正常。



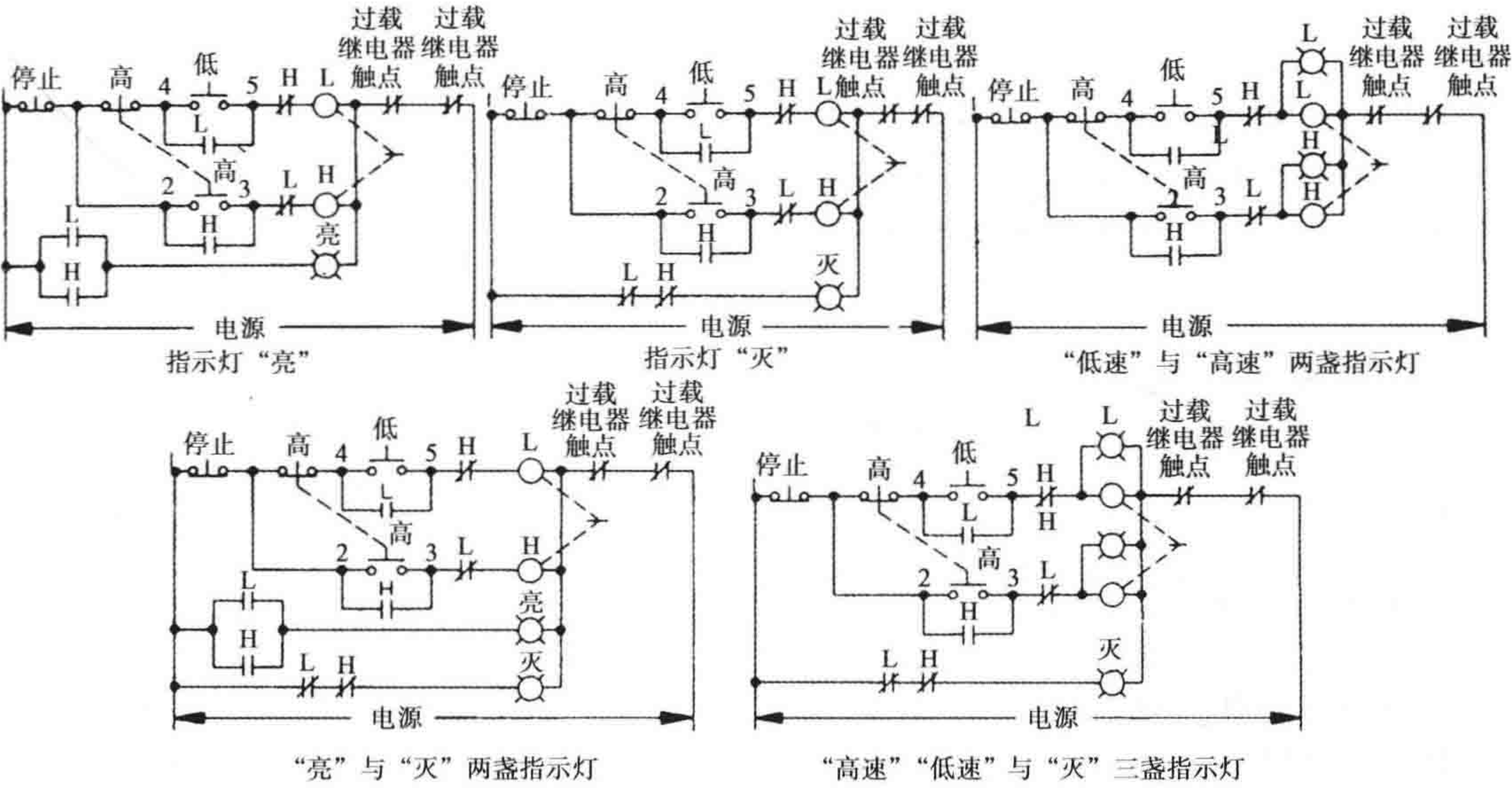


图 12-34 变极起动器的基本控制电路图 (Allen-Bradley 产品)

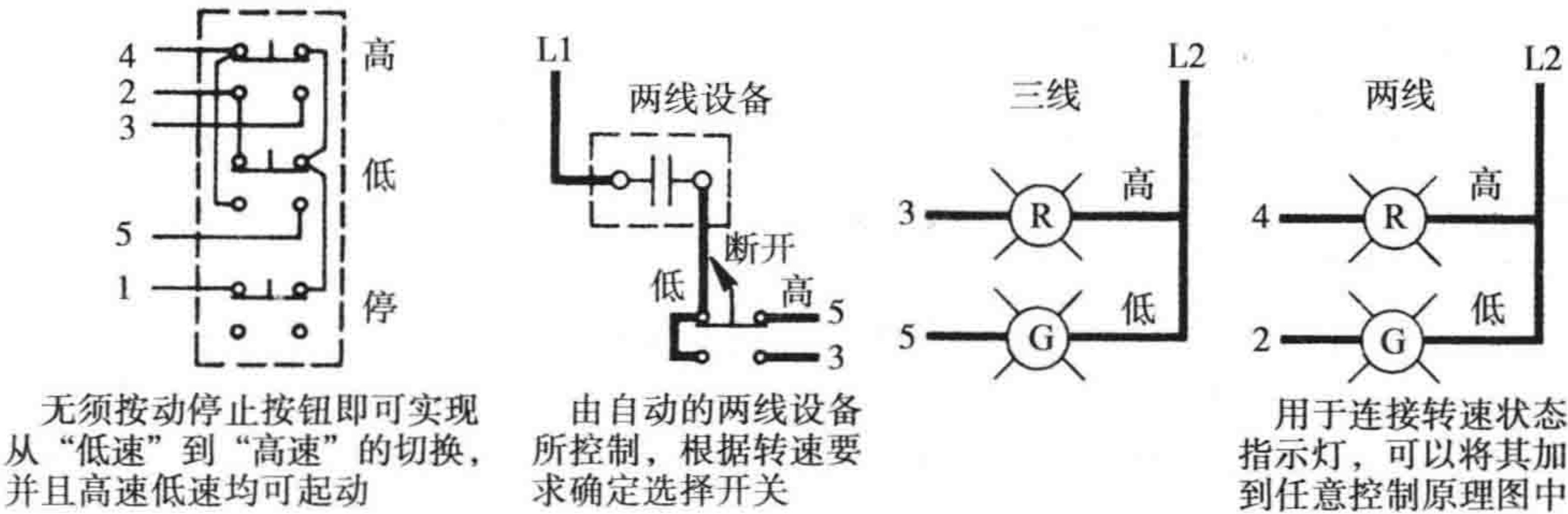


图 12-35 用于不同操作顺序和操作方法的连接图 (Allen-Bradley 产品)

图 12-36 所示为双速变极起动器的变转矩和恒转矩的连接图。图 12-37 所示为四速双绕组控制器的电气图和电动机连接图。

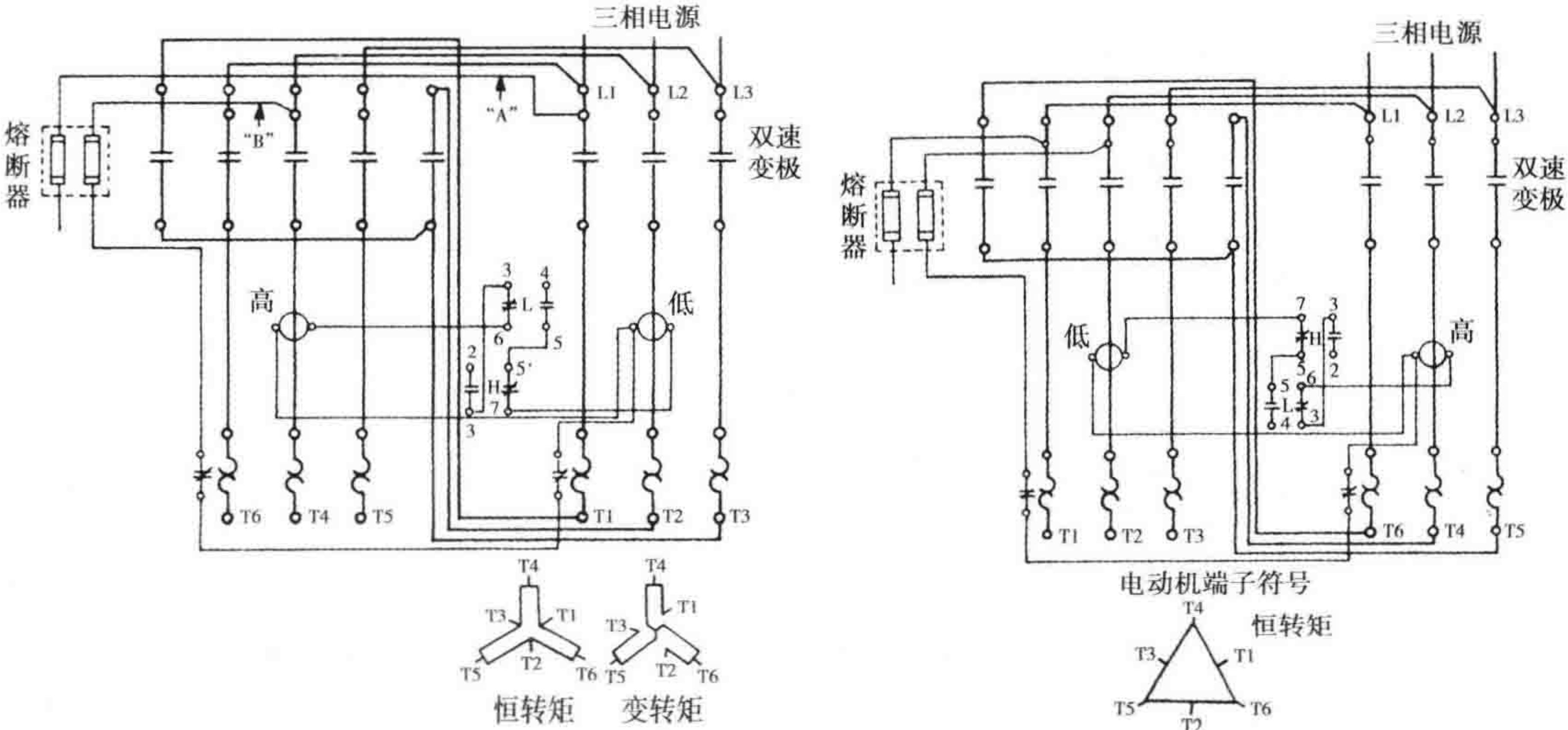


图 12-36 双速变极起动器的典型接线图 (Allen-Bradley 产品)



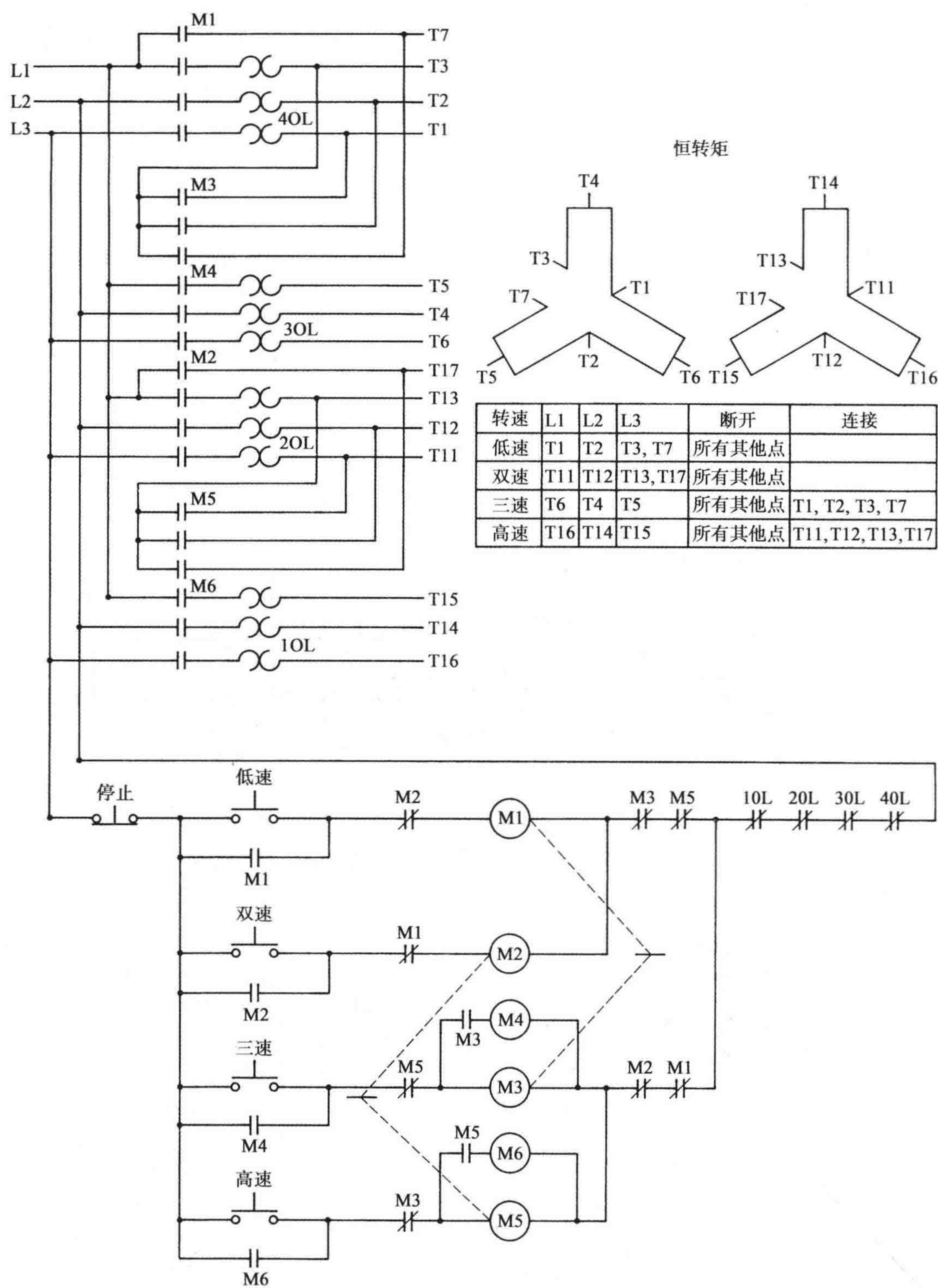
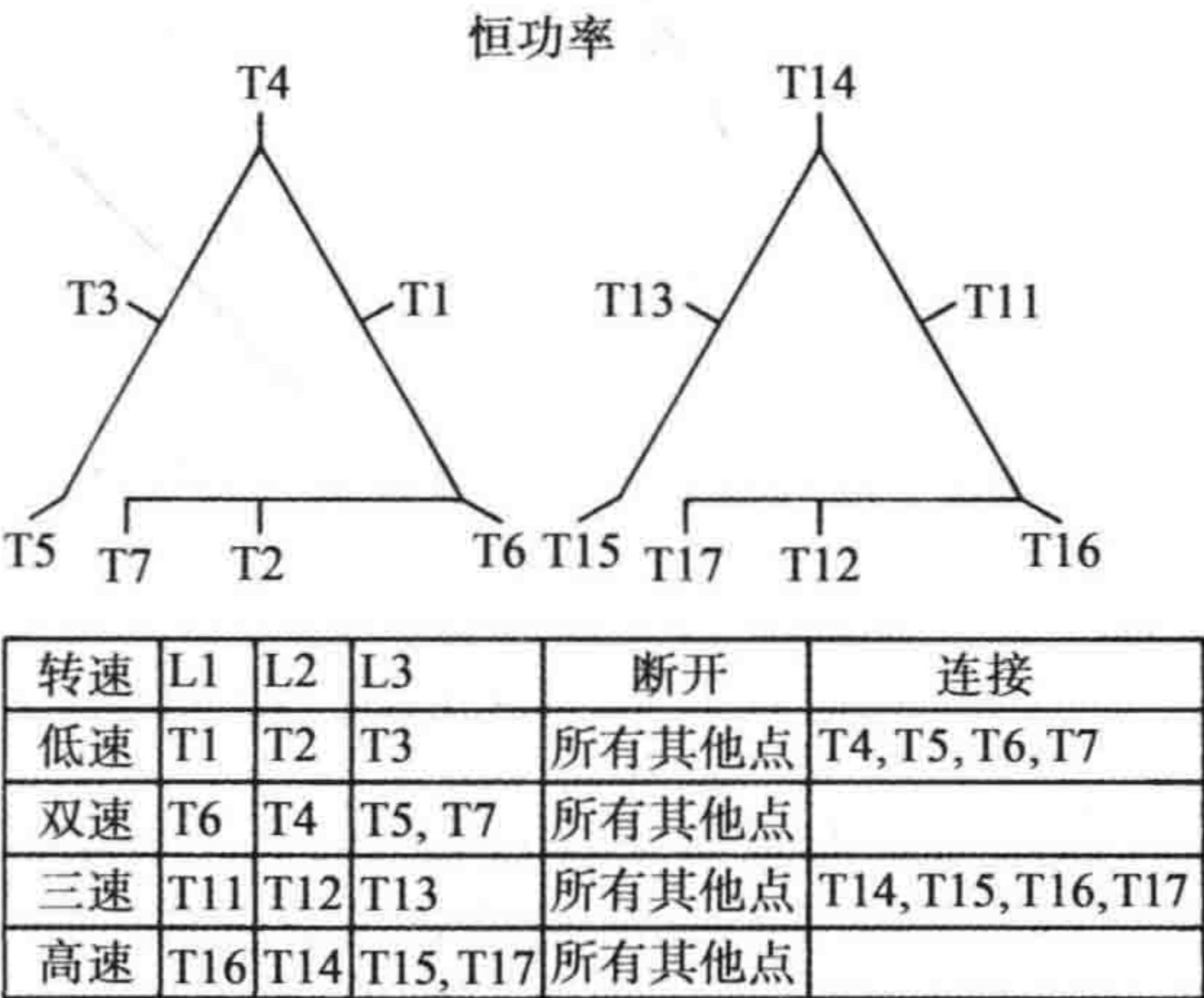
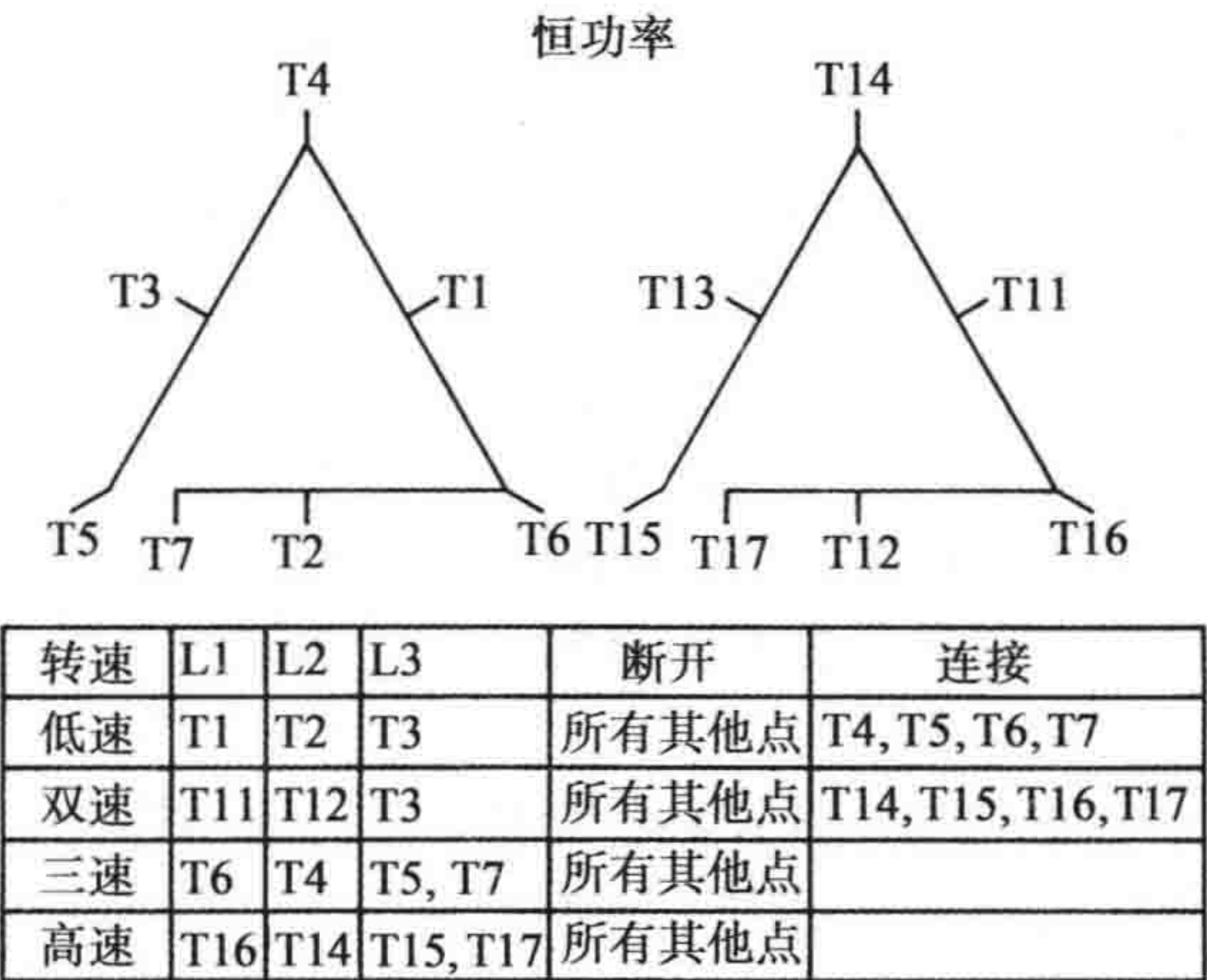


图 12-37 四速双绕组控制器电气图和电动机的连线方案图（Allen-Bradley 产品）

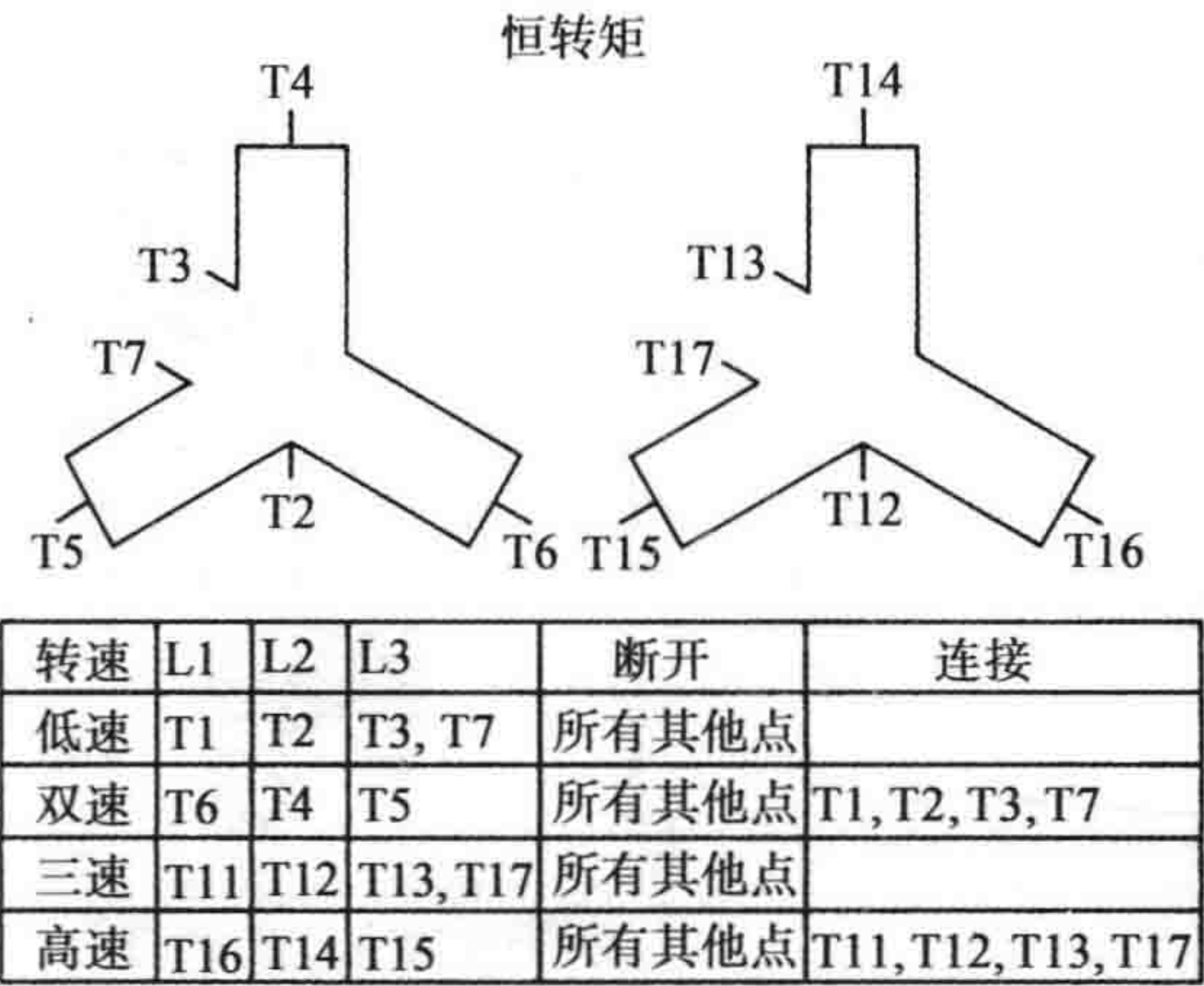




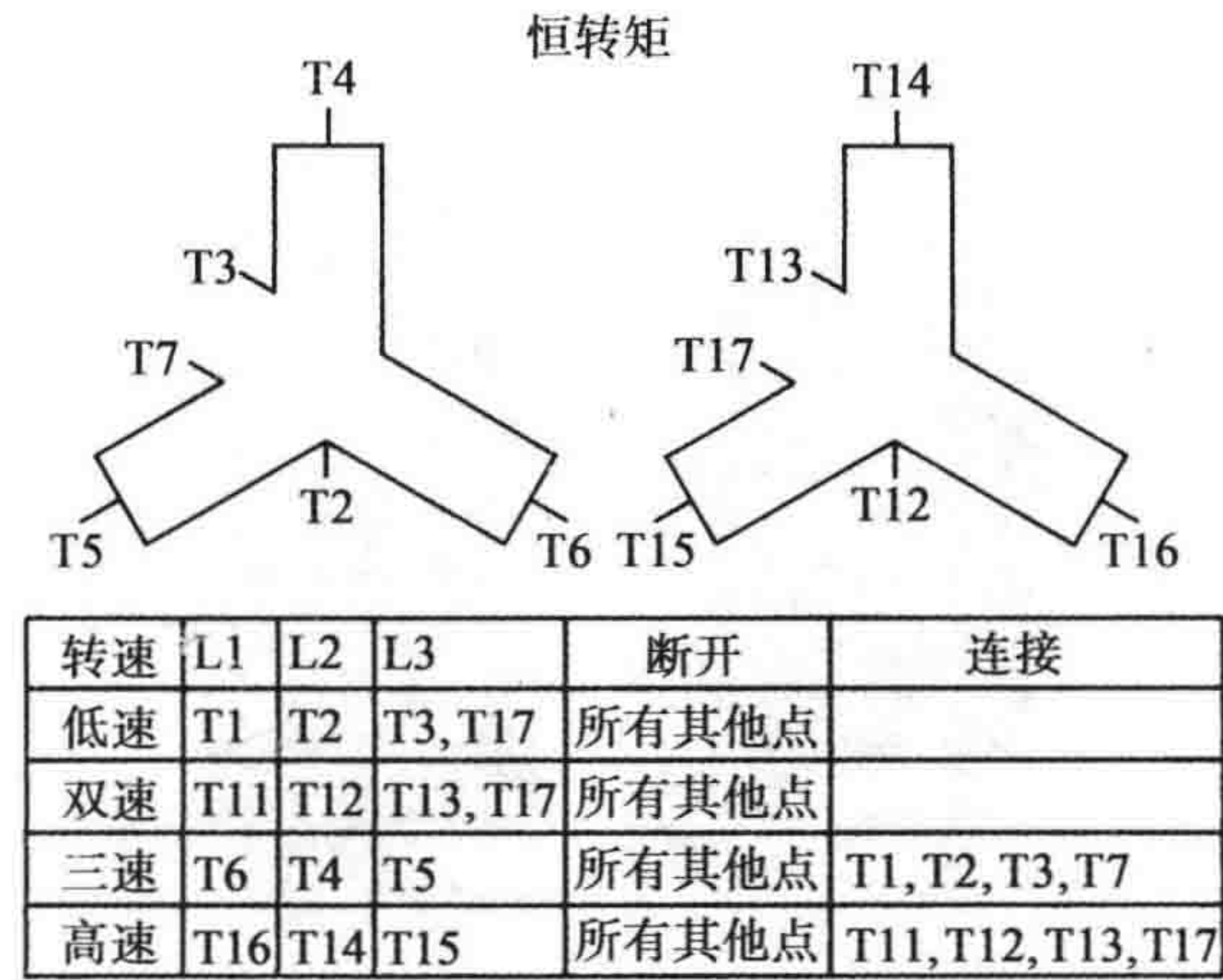
a)



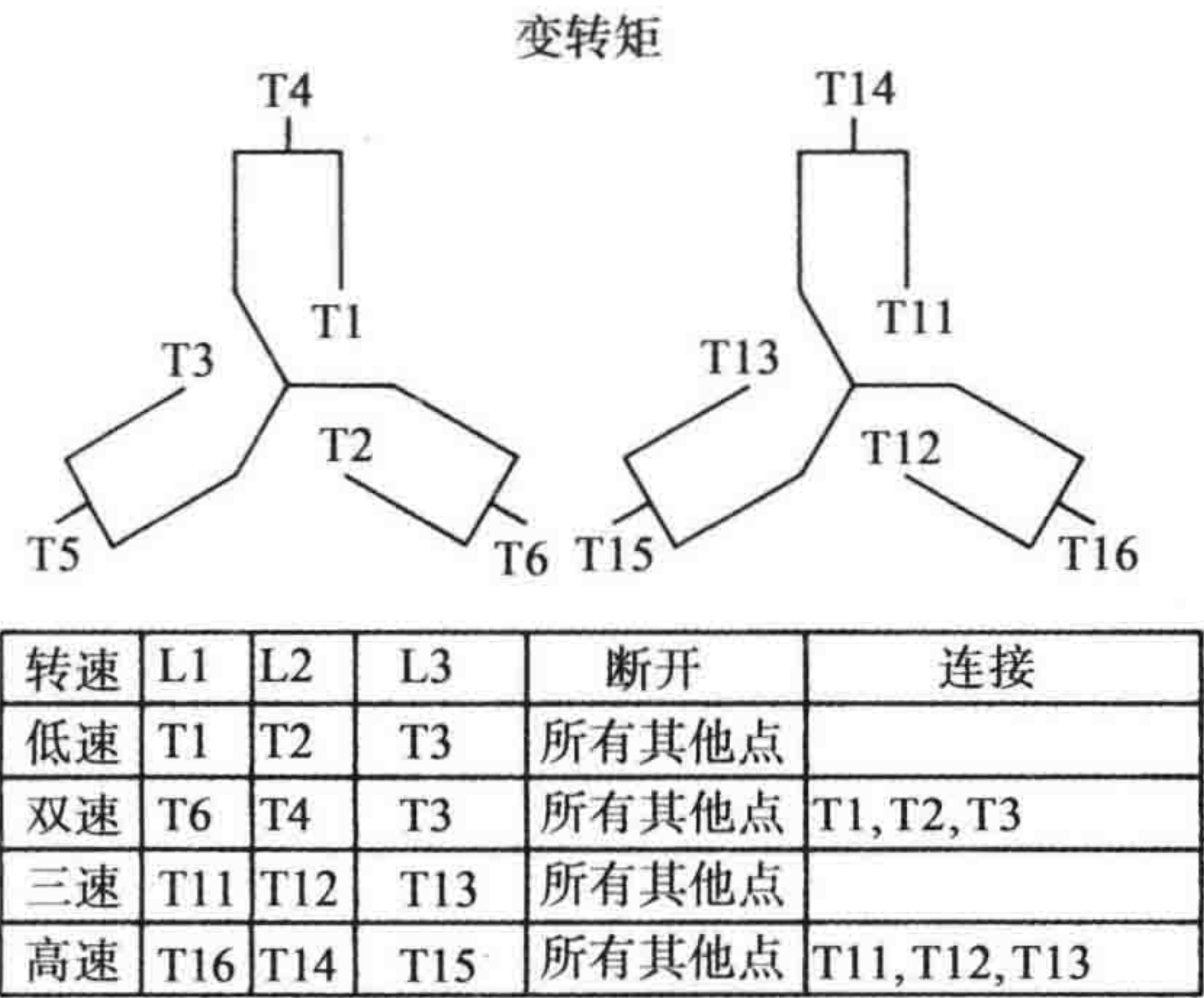
b)



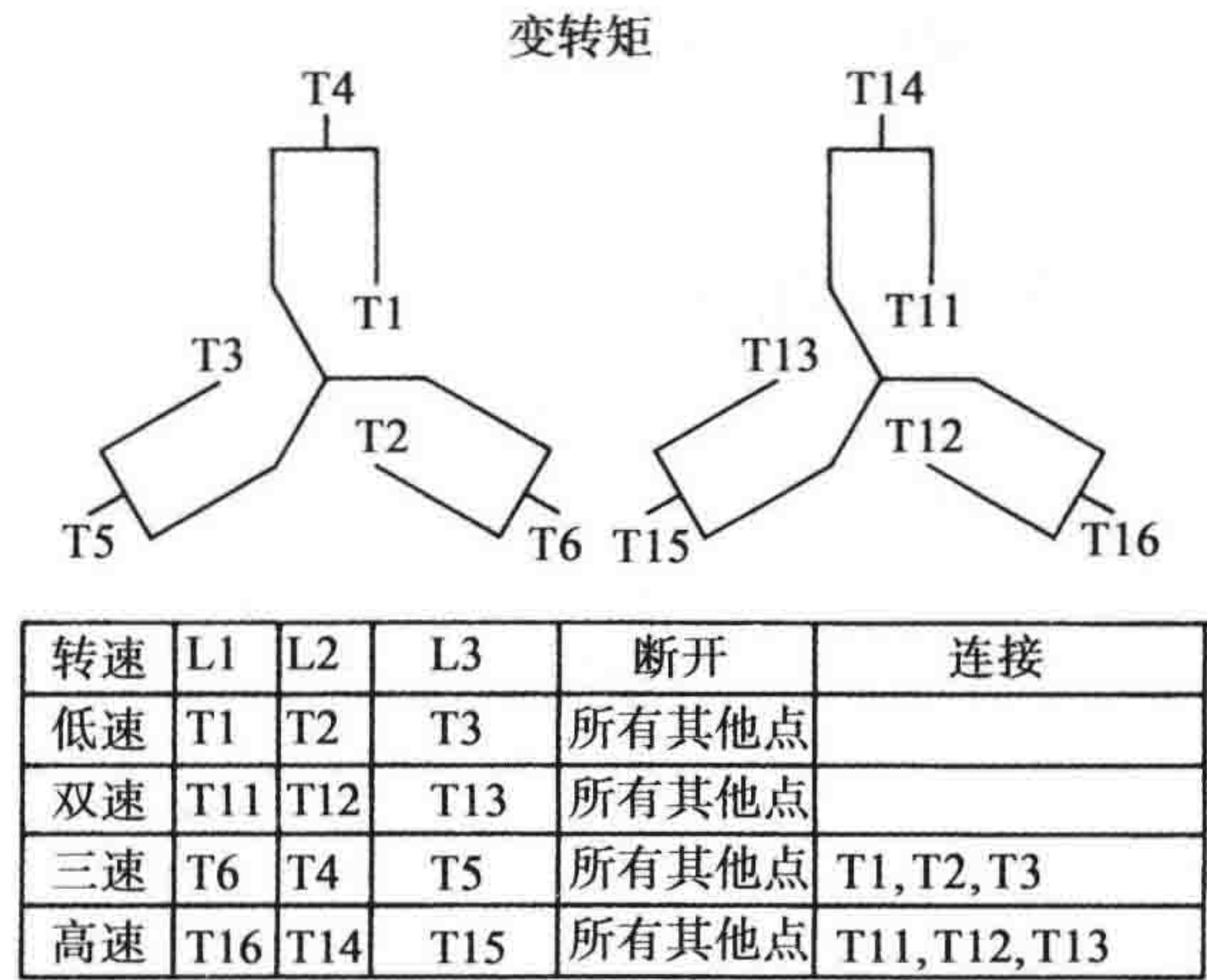
c)



d)



e)



f)

图 12-37 (续)

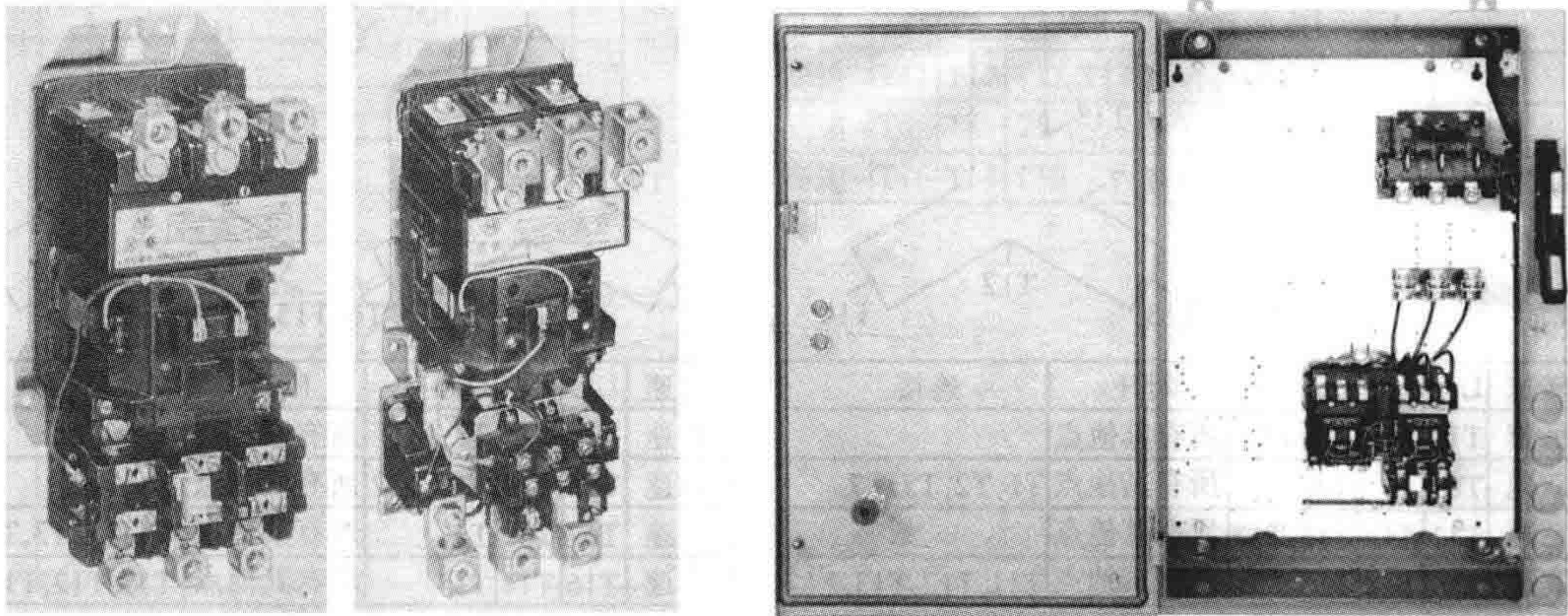
12.18 全压起动器

全压型起动器是最便宜的起动器。当对额定功率、规格、额定电压或电动机类型均没有限制时，电动机可在通电时用全压起动。



如果电力系统可以提供初始的冲击电流，并且电动机和其驱动的设备能够承受突然起动的冲击，全压起动器总是第一选择。这类示例包括空载起动的机器、那些只需要很小转矩的机器或者配备了某种形式的卸载装置以降低起动转矩的机器（如压缩机中使用的卸载阀）。离合器可以安装在机器和电动机之间，从而使电动机可以空载起动。当电动机加速到规定转速时离合器啮合。为了避免电动机断开时最大负载对电力系统的扰动，离合器有时也用于大型机器上。使用离合器时还允许使用带低转矩和起动电流的电动机。在大多数情况下，最新的设备使用了固态电动机控制器以获得更好的性能。还有很多旧型号的起动器仍在使用中，并将继续提供良好的服务。随着它们的老化，它们通常会被固态起动器代替，所以使用离合器是不必要的。

图 12-38 所示为全压起动器的通用外壳。这种起动器是为多相笼型电动机的全压起动和集电环电动机的基本控制而设计的。这种起动器可远程控制操作，远程控制设备包括按钮、浮球开关、温控器、压力开关、瞬动开关、限位开关或任何其他合适的两线或三线控制装置。



a) 不带外壳的全压起动器（NEMA）：（左）规格为3，（右）规格为5（Allen-Bradley产品）      b) 全压起动器的通用外壳（Allen-Bradley产品）

图 12-38 全压起动器

### 12.19 起动顺序

如果全压起动对配电系统产生过大的电流需求，那么电动机应单独起动，或者一批符合规格的电动机采用时间延迟的方法来起动，如电动机驱动、气动或水银插棒式时间继电器等。当大型和小型电动机在一个公共的电力系统中起动时，首先起动大型电动机可以取得最好的结果，这给大容量电动机提供了优势。如果同步电动机与其他类型的交流电动机同处一个系统中，那么同步电动机应该首先起动，因为它们能够为起动感应电动机提供稳定电压的能力。

### 12.20 低压保护

当电动机运行时，即使系统允许所有电动机不需要以过度降低线路电压的方式来起动，低压保护也是需要的。当使用三线控制电路时，严重的线路电压跌落或瞬间停电会中断控制自锁回路，导致控制器退出以及电动机停运。这可以提供低压保护，同时可以防止因为电压瞬时跌落而降低了转速的所有电动机同时加速到全转速状态。然而，所有的电动机在电压瞬时跌落时都会断电，它们每个都必须重新起动。



## 12.21 时间延迟保护

可以将电路设计为具备延时欠电压功能。它允许控制器在低电压跌落时退出运行,但如果电压在预定的延迟时间内恢复到正常状态,那么允许电动机自动重启。通常的延迟时间不超过2s。

延时欠电压保护控制器可以防止一些系统的完全停运,但应谨慎使用。如果用在所有的电动机控制器上,那么一旦发生电压跌落,并在延时期内电压恢复正常,将引起所有电动机试图同时加速,这会导致起动电流过大,若发生这种情况,可能会起动备用保护装置或起动过载保护装置断开电动机。

控制装置(如压力开关、浮球开关或温度开关等)会根据需求自动起动和停止电动机。对严重的电压跌落或电压故障,即使开关闭合,电动机控制器也将退出运行。一旦电压恢复正常,所有单元将试图同时起动。这种操作风险可以通过在每个电动机起动电路上增加延时加以克服,时间延迟可根据起动的需求略有不同。各单元的时间延迟可以错开,使得电压恢复后的某一时刻只有一个单元起动。

## 12.22 思考题

1. 什么是电压变化幅度?
2. 单相电动机中离心开关的用途是什么?
3. 如何改变分相电动机的旋转方向?
4. 什么类型的电动机使用推杆和绕组电枢?
5. 电容式起动电动机应用在哪些场合?
6. 电容式起动电动机如何在静止时反转?
7. 永久分相电容电动机有什么优点?
8. 罩极电动机最有可能被用在哪儿?
9. 分相电动机的运行需要什么条件?
10. 电动机全压起动时起动电流有多大?
11. 电动机减压起动的优点是什么?
12. 定子电阻起动器的另一个名字是什么?
13. 自耦变压器起动器的主要缺点是什么?
14. 部分绕组起动器提供什么样的起动方式?
15. 最便宜的电动机起动方式是什么?
16. Y- $\Delta$ 起动器通常用于哪里?
17. 为什么Y- $\Delta$ 起动器用于绕组为三角形联结的笼型异步电动机中?
18. 为什么需要闭锁继电器?
19. 当磁极数增加时,电动机转速会有什么变化?
20. 变极电动机如何获得两个速度?



## 第 13 章

# 固态减压起动器

### 13.1 学习目标

通过学习本章，您将能够：

1. 定义晶闸管的操作方式。
2. 解释门的作用。
3. 解释固态无级加速。
4. 描述一个双向触发二极管在控制电路中的操作方式。
5. 描述一个双向可控硅在控制电路中的操作方式。
6. 解释如何将浪涌电压抑制器安装在磁性器件上。
7. 描述雷电浪涌防护。

### 13.2 机电设备

使用多年的机电设备仍然是可靠的而且工作在很多装置中。它们被用于提供顺序和互锁功能。它们构造简单，使用灵活，并且有许多触点的组合。它们还可以处理大电流，并根据需要切断电路。

固态器件没有移动部件，也没有触点需要清洁、更换或调整。它们使用晶体管、双向可控硅、双向触发二极管、可控硅整流器进行切换。在固态系统中这些逻辑组件可以执行继电器在机电系统中相同的功能。（见图 13-1）。

由于固态控制设备具有许多优点，所以使得它在需要操作的各种环境中都能令人满意。当需要去控制一个关键的操作程序时，它没有能够变脏或发生故障的接触点。固态控制设备比机电设备更加可靠。它们通常封装成模块插入机架中，如果电路有什么问题，可以作为一个单元来更换。

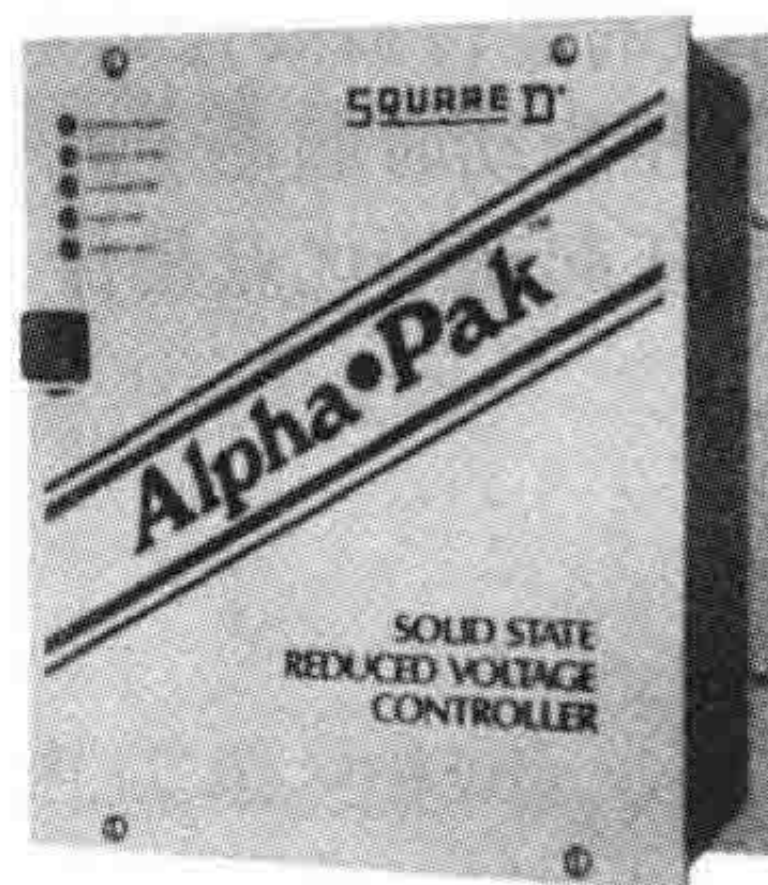


图 13-1 固态减压控制器（Square D 产品）

### 13.3 减压起动

减压起动可以用多种方式来实现在固态电路中，减压起动的实现比之前描述的方法相对更为简单。虽然电路功能的具体细节在某种程度上比所述的机电系统更加复杂，但是为了掌握这种执行固态切换和控制的简单设备的工作方式，完全理解固态物理学和 / 或电子学也是不必要的。



13.4 可控硅整流器

可控硅整流器（SCR）是控制电动机最常用的设备，其正式名称为晶闸管。然而，术语 SCR 的普遍使用已经使它成为文献的一部分，并且被工作在此领域的人广泛接受。它是一种特殊类型的半导体，用于电气线路的控制。

一个 SCR 只在一个方向传导电流。图 13-2 所示为 SCR 的符号。电流从阴极（C）流向阳极（A），图中显示 SCR 也有一个门极（G）。

SCR 的功能如图 13-3 所示。SCR 最典型的应用是控制电路，实例包括调光器或电动机的转速控制。图 13-3 所示为这种类型的电路。该电路中的电阻  $R_1$ ，是变阻器或可调电阻器，它用来控制施加到 SCR 门极上的电压。施加的电压越大，电流也越大，因此，调整变阻器可以起到控制电路的作用。如果用这个电路点亮一盏灯，那么调低变阻器的电压可以将灯光调暗。如果用这个电路控制一台电动机，那么调低变阻器的电压可以降低转速。图 13-4、图 13-5 和图 13-6 给出了典型的 SCR 符号和实物图片，它们的引线根据阴极、门极和阳极连接加以区别。

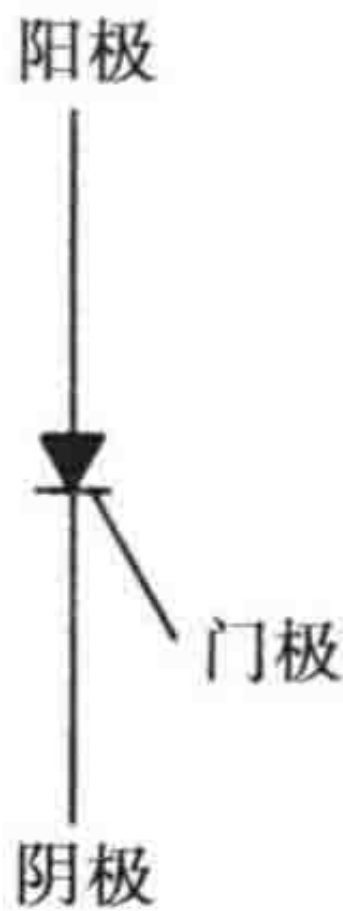


图 13-2 SCR 符号

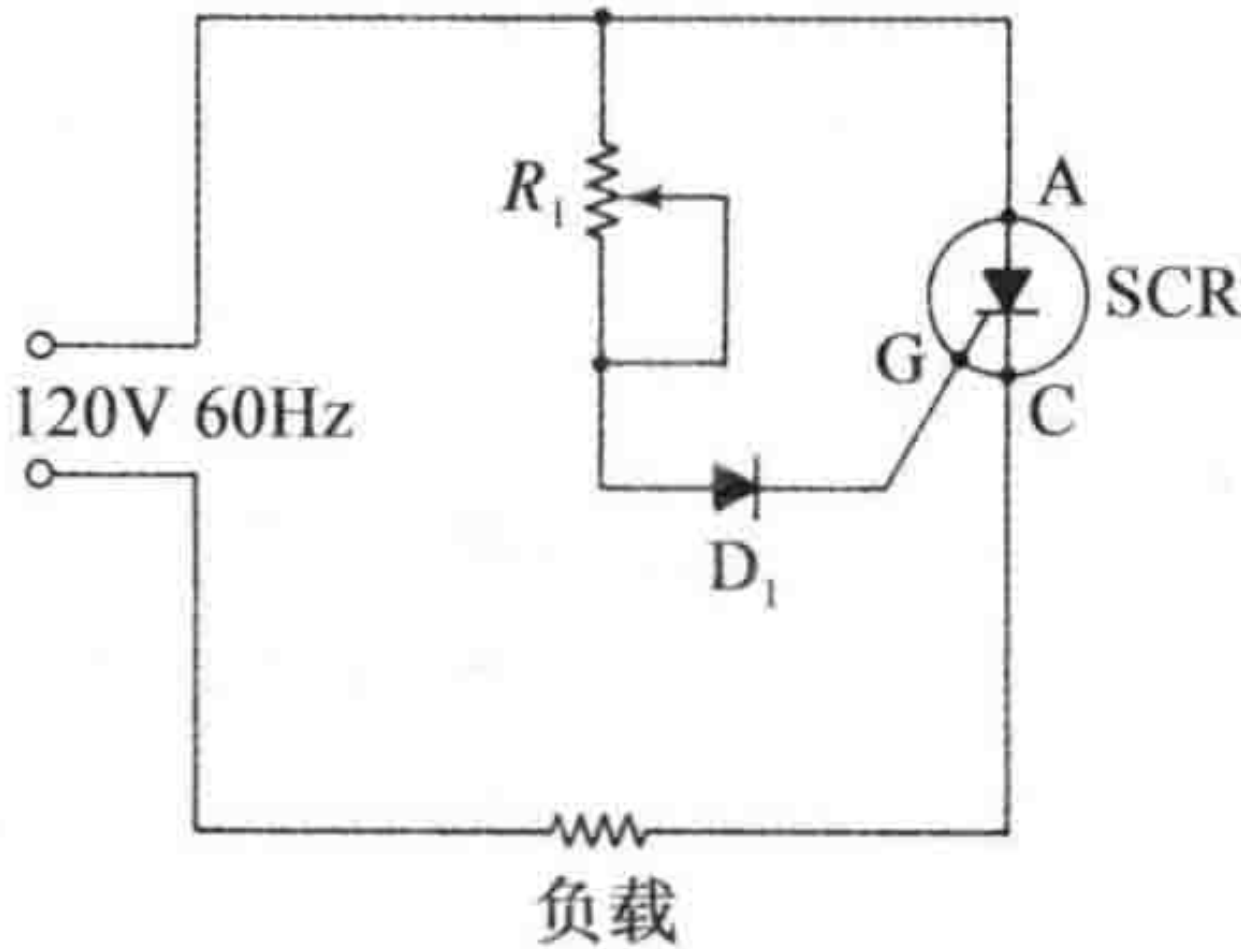


图 13-3 SCR 控制电路原理图

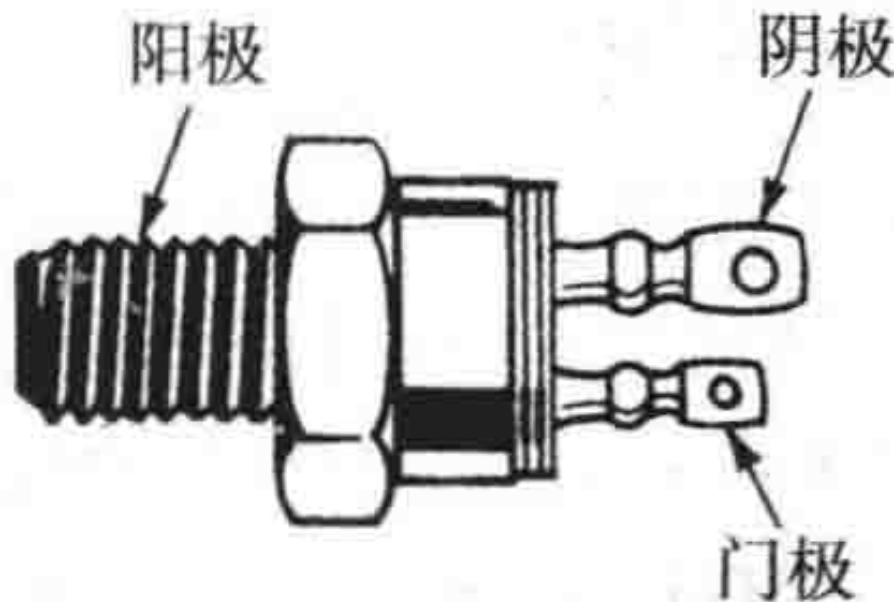


图 13-4 典型的 SCR

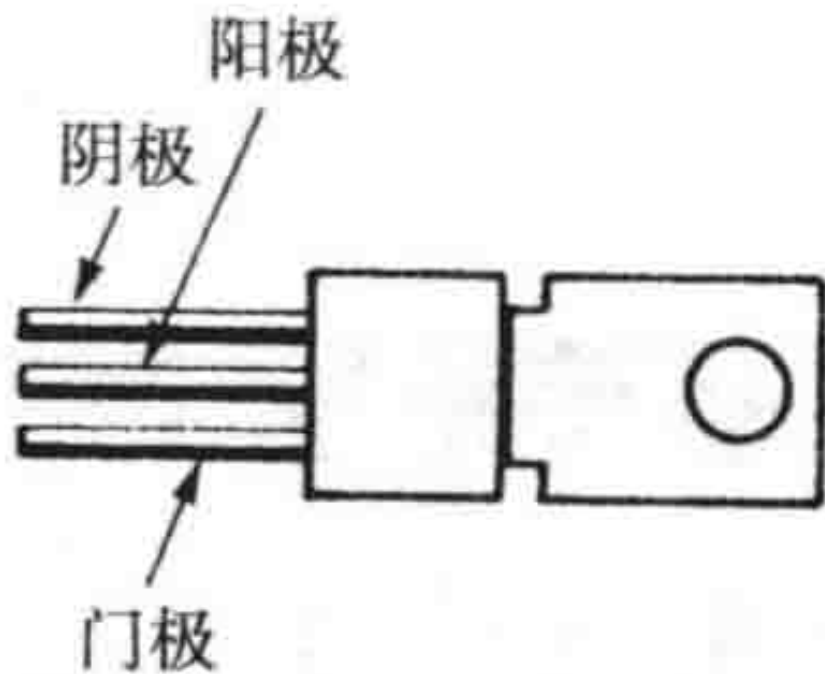


图 13-5 典型的 SCR

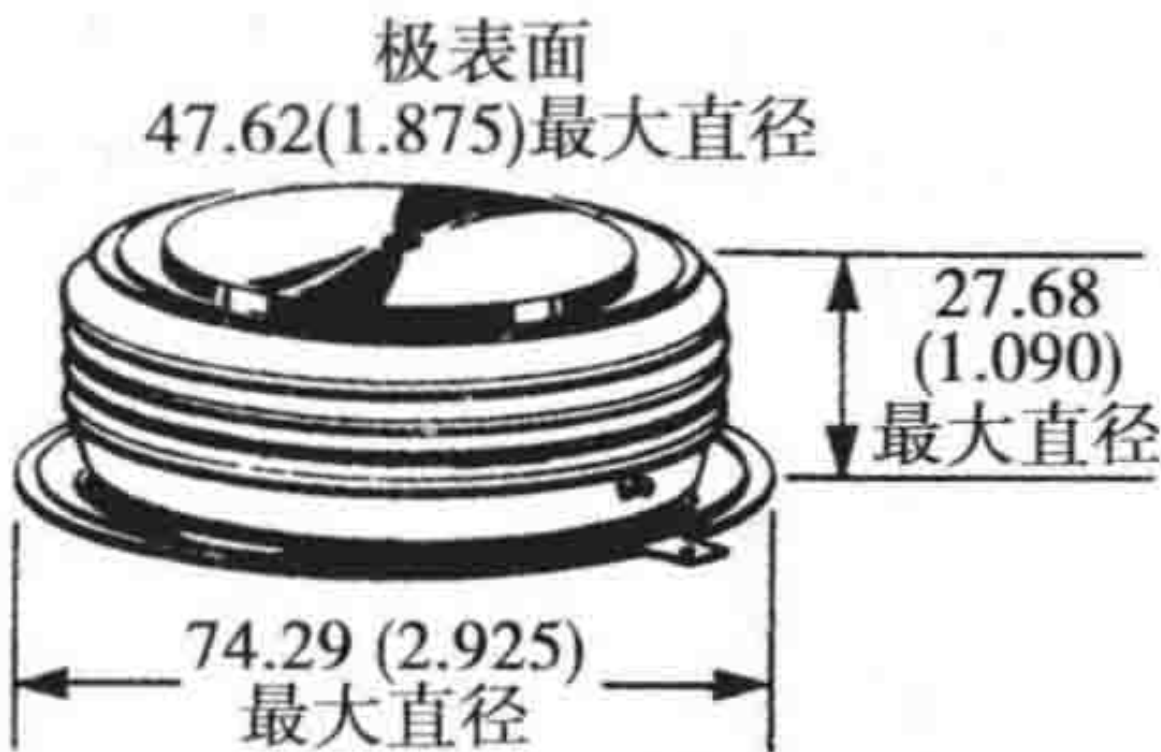


图 13-6 较大的电流需要较大的 SCR

使用半导体器件控制电动机的一个主要原因是：在减压条件下该设备可以起动电动机，从而使电动机在较低转矩下加速到额定转速。通过降低过高的起动电流，降低了对所驱动设备的机械冲击。

固态减压电动机起动器使用 SCR 进行电力控制。SCR 中的电流只向符号中箭头所示的方向流动，这意味着在 SCR 中电流只能朝一个方向流动。为在交流电中使用 SCR 的这些优点，有必要使两个 SCR 反向并联连接（见图 13-7）。需要开启 SCR 以便传导电流通过它们，也就是说，它们需要一个触发脉冲来开启。可控硅一旦被接通或触发，就会有电流通过它。全波控制在每一相都使用两个 SCR。三相操作必须使用 6 个 SCR，具体连接如图 13-8 所示。

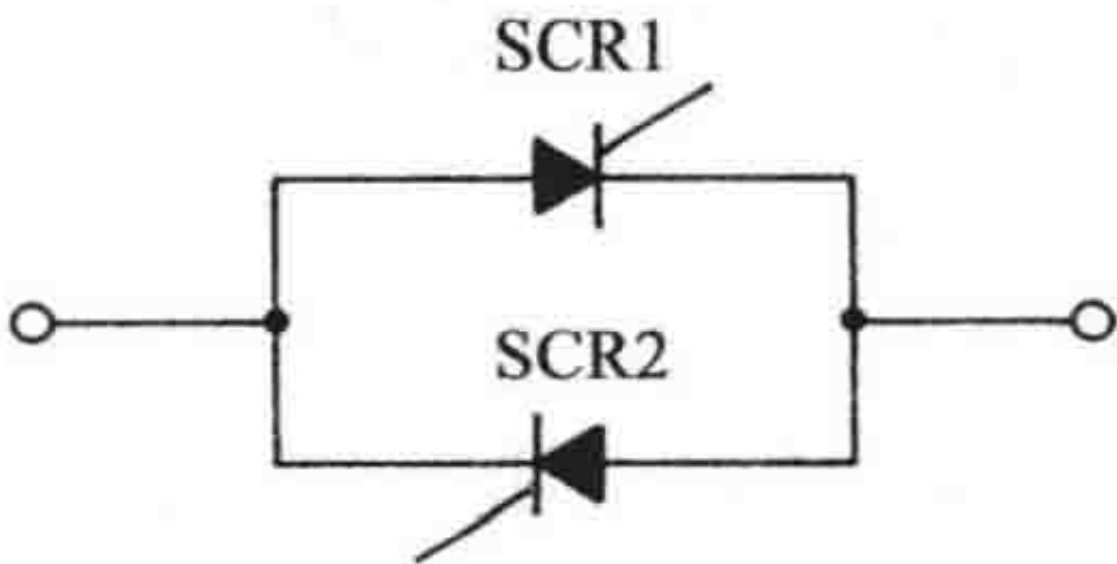


图 13-7 单相反向并联 SCR

通过控制半个周期内门极触发脉冲的时间可以控制流过 SCR



的电流，这种方法也可以控制电动机的加速时间。如果该触发脉冲是在半个周期的早期施加的，那么输出较高。如果触发脉冲在半个周期的后期施加，那么只有一小部分波形通过，输出较低。因此，通过控制 SCR 的输出电压，即可控制电动机的加速特性（见图 13-9）。

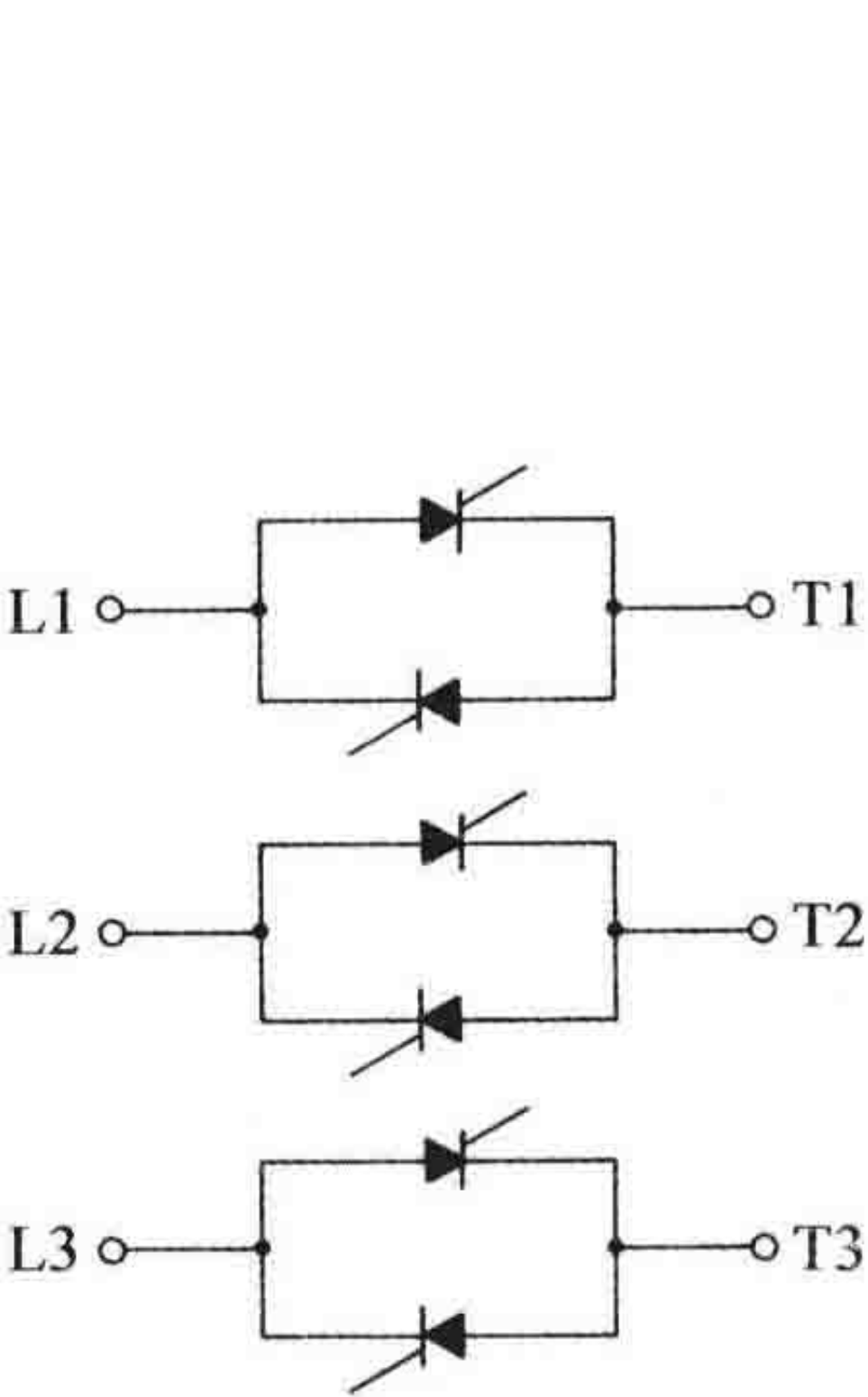


图 13-8 三相 SCR 布置

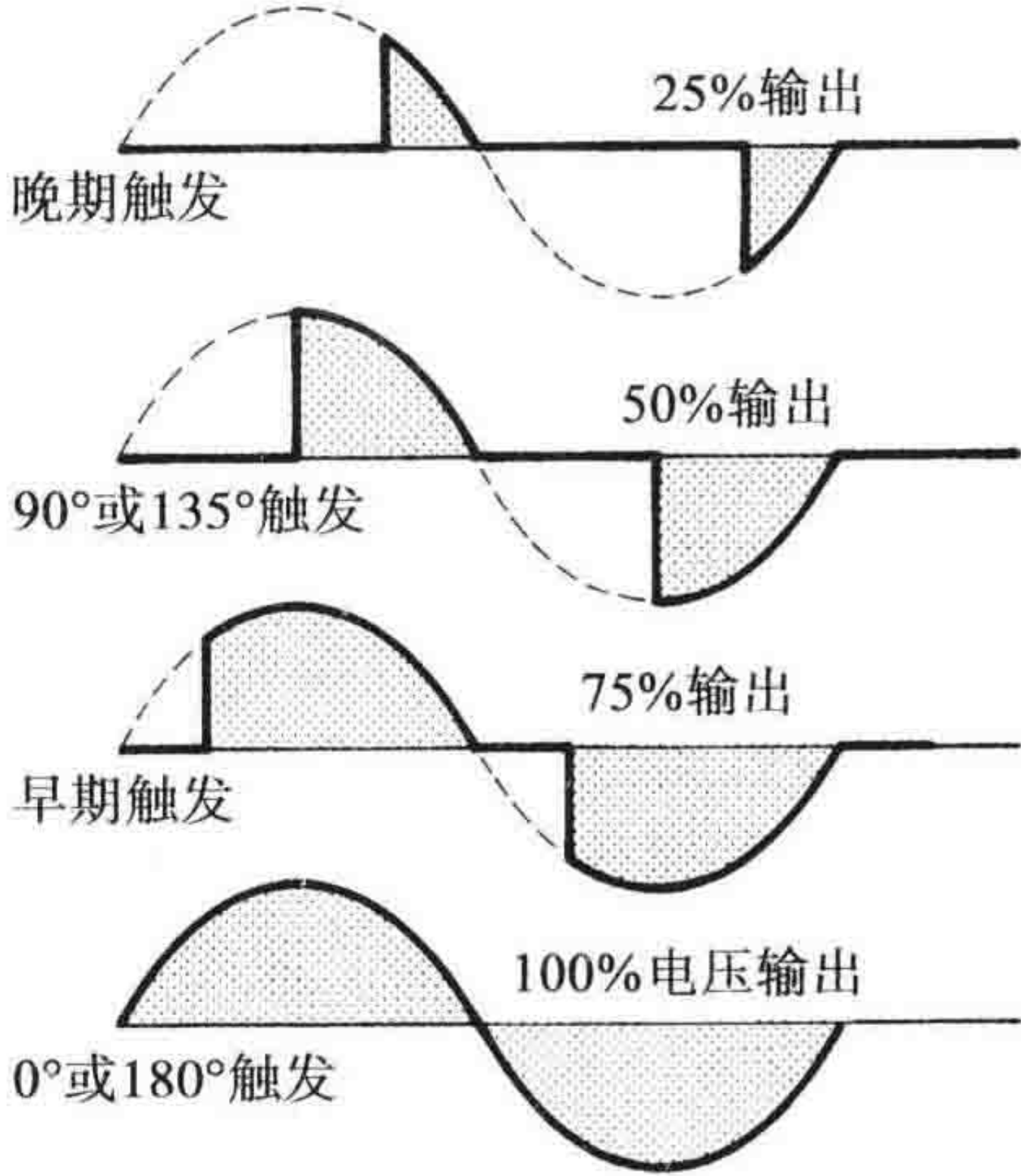


图 13-9 不同时刻触发门极的输出波形

13.5 固态无级加速

8660 固态减压控制器可以为三相感应电动机提供平滑、无级加速。该控制器在起动和运行期间可为电动机提供多种标准和为控制、监视和保护特性提供多种可选功能。控制器的模块化结构，增加了灵活性和易维护性（见图 13-10）。软起动是通过对 6 个可控硅整流器逐步开启来实现的，其中两个可控硅背靠背或反向平行排列并且固定在一个散热片上以形成电源端。电源端还包含一个印制电路板和热传感器。

可控硅的触发是由在逻辑机架上的模块来控制的。这些模块还检查起动及其运行条件是否正确，并通过 LED 来提供控制器的视觉指示，每个模块具有特定的位置和功能。图 13-11 所示为逻辑模块机架。

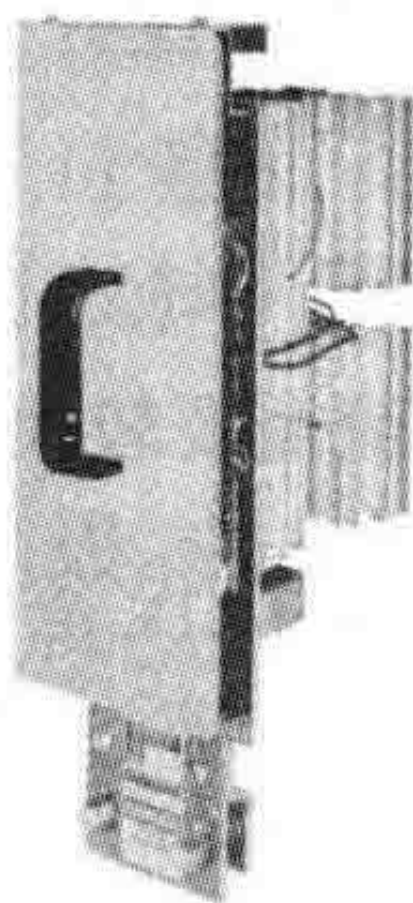


图 13-10 电源端（Square D 产品）

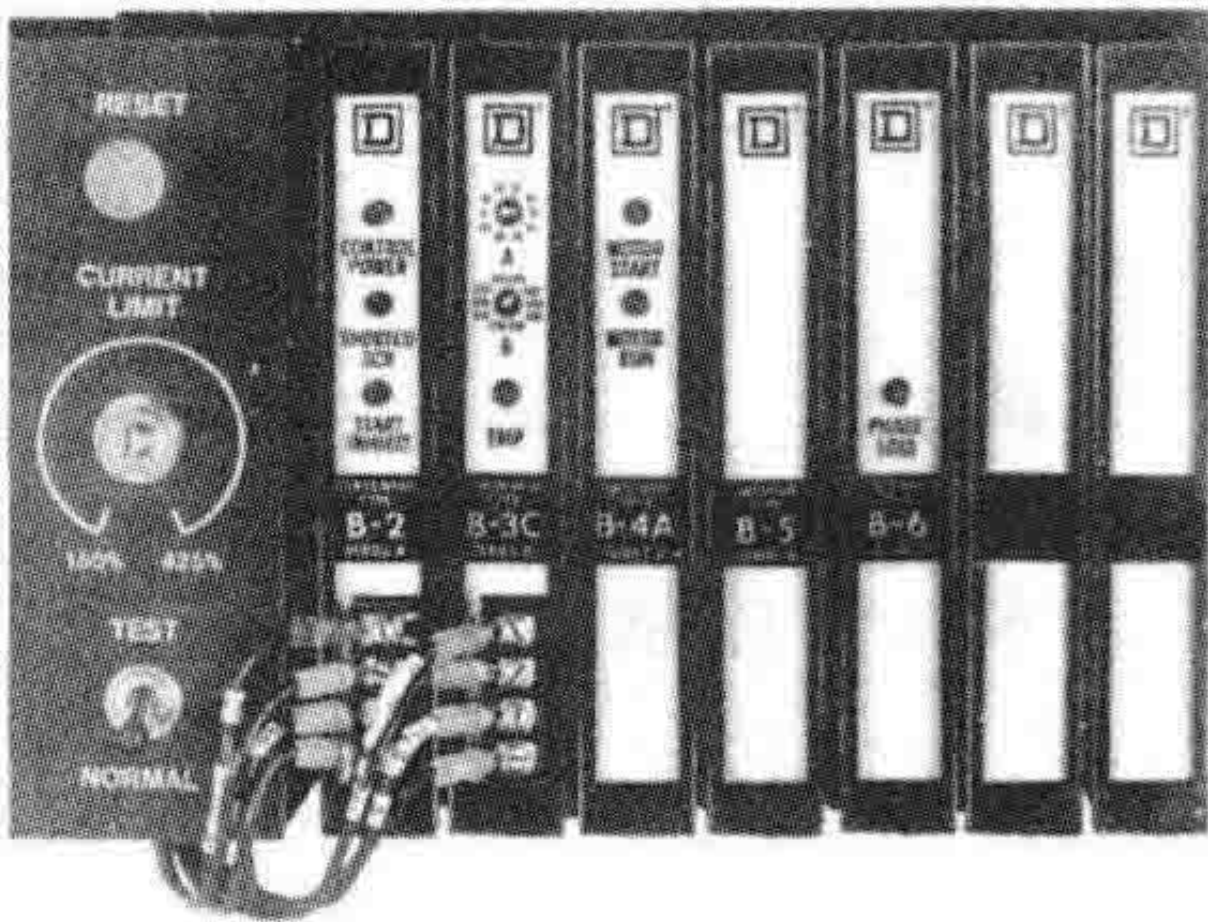


图 13-11 逻辑模块机架（Square D 产品）

13.6 逻辑机架

逻辑机架位于控制器的下部，并有能插入 8 个插件模块的插槽（见图 13-12）。每个模块具有特定的位置，并对控制器的操作执行特定功能。位置 1 的模块在控制器的内部，提供电源端和逻辑模块之间的布线连接；位置 2 至位置 8 的模块控制可控硅的触发，检查其是否具备起动和运行条件，并通过 LED 提供控制器状态的指示。B-2 模块在位置 2，B-3 模块在位



置 3 等。具体的模块功能如下所述。

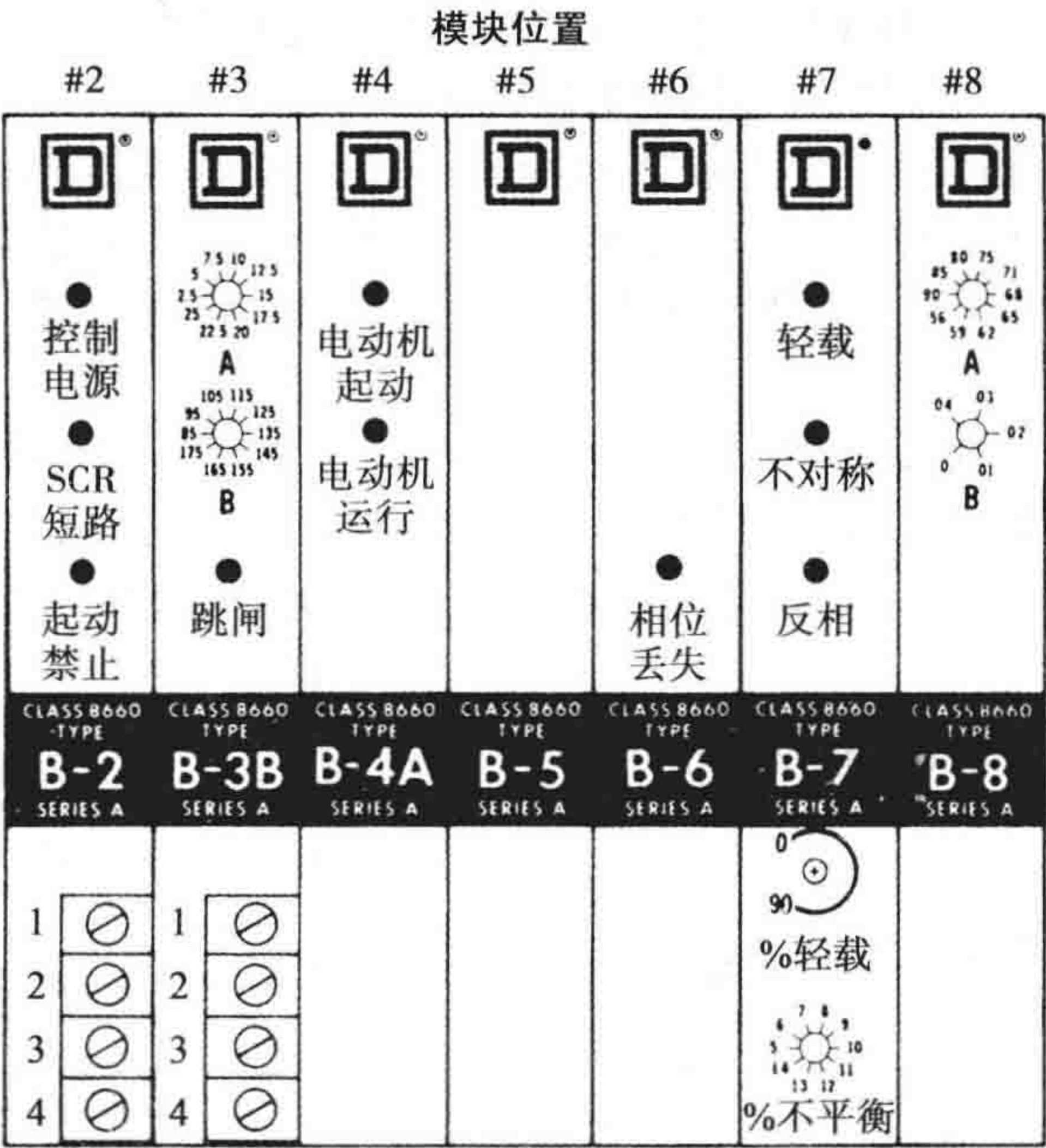


图 13-12 逻辑机架上模块的位置 (Square D 产品)

13.6.1 B-2 模块

该模块提供逻辑电压，并可以检查起动条件是否正确。如果控制电源的指示灯被点亮，而起动抑制指示灯被熄灭，则表明该控制为起动控制。

13.6.2 B-3 模块

一种控制方案是将三相、温度补偿、固态过载继电器作为控制器的主体构成。它提供 10 级，防止损害电动机过载的反时限跳闸特性，对应 4 个额定电流分别为 200A、320A、500A 和 720A 的控制器，每个都有不同的 B-3 模块。电动机额定电流的设置可以利用 B-3 模块上的电位器进行调节。满足过载条件会自动断开控制器，闭合报警触点，跳闸 LED 亮，起动抑制 LED 亮。逻辑机架组件中的过载测试功能提供了固态过载电路的操作检查。过载跳闸时间是电流限值的函数。电流限值越低，跳闸时间越长。3 个电流限值的跳闸时间如表 13-1 所示。其他类型的控制器可以提供高惯性负载更长的跳闸时间。Z72 通过采用特殊的 B-3 模块和更高额定电流的电源端可以提供 30 级反时限跳闸特性。30 级过载跳闸时间示于表 13-1。

表 13-1 过载跳闸时间

MFLC 的限流百分比	跳闸时间 (s)	
	标准 10 级	Z72 30 级
150	90	250
300	30	90
425	5	40



13.6.3 B-4 模块

所使用的起动方法都由 B-4 模块来确定。限流起动是标准的，并且可以通过逻辑机架组件上的电位器进行调节。可以选择不同的起动方法，每种起动方法的说明如下。

**电流限值 (B-4A 模块)** 电流限值功能将在电动机起动和运行的任何时间将其电流限制到预设水平。使用位于逻辑机架上的电位器，电流限值可在电动机满载电流 (MFLC) 的 150%~425% 之间可调。如果使用短路接触器，该功能将只在起动条件下有效 (见图 13-13)。

**线性加速 (B-4B) 转速计反馈** 该选项允许电动机随着时间线性地加速直到电动机达到额定转速 (见图 13-14)。起动时间从 3~30s 内可调，并且不随电动机负载波动。此方法可提供最平稳的加速，但需要一个转速计反馈输入量。电动机电流被限制在电流限值范围内。



图 13-13 B-4A 模块 (Square D 产品)

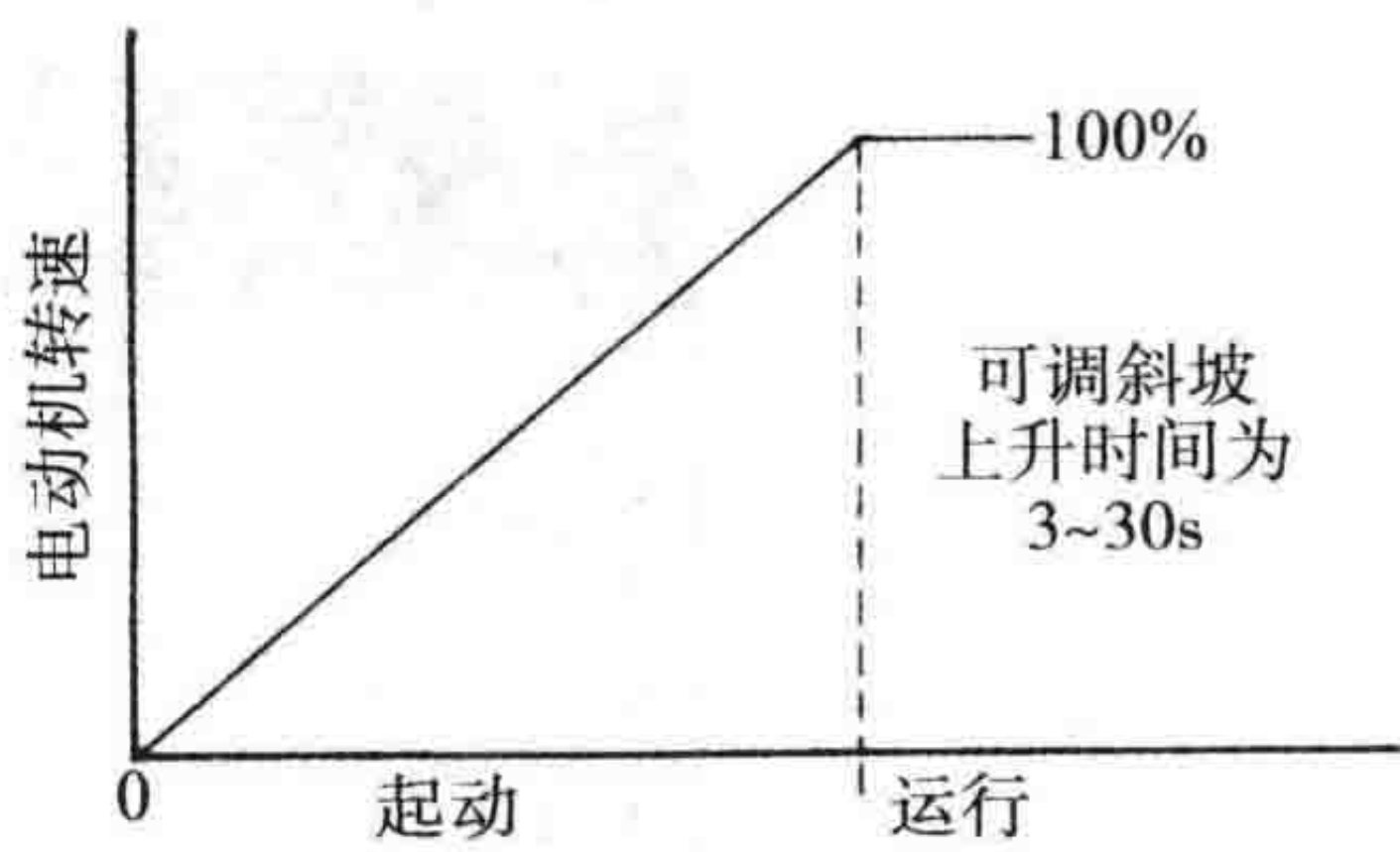


图 13-14 B-4B 模块 (Square D 产品)

**斜坡电压 (B-4C 模块)** 该选项允许所使用的电动机在 3~30s 的可调时间内其电压从 0 线性地增加到 100%。电动机电流限定于电流限值范围内。此方法不需要转速计，几乎可以将电动机从零线性加速到额定转速。实际的加速时间取决于电动机和负载 (见图 13-15)。

**斜坡电流 (B-4D 模块)** 此选项在起动时给电动机提供一个脱离电流，然后线性地加大电流至限制电流。脱离电流可在满载电流 (MFLC) 的 0%~150% 内调节。电流斜坡上升时间可在 0~7s 内调节。此方法可对起动电流进行最大控制 (见图 13-16)。

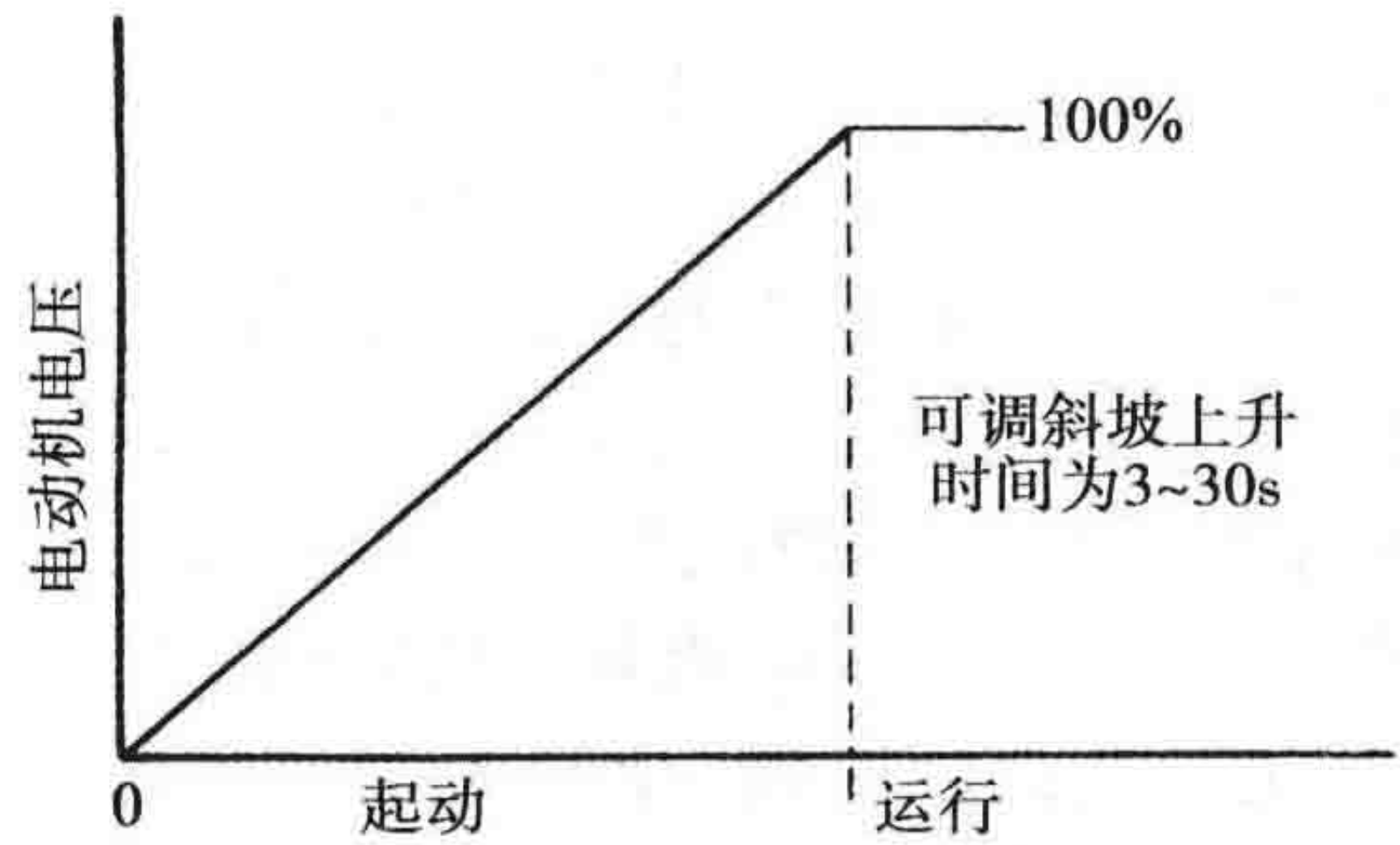


图 13-15 B-4C 模块 (Square D 产品)

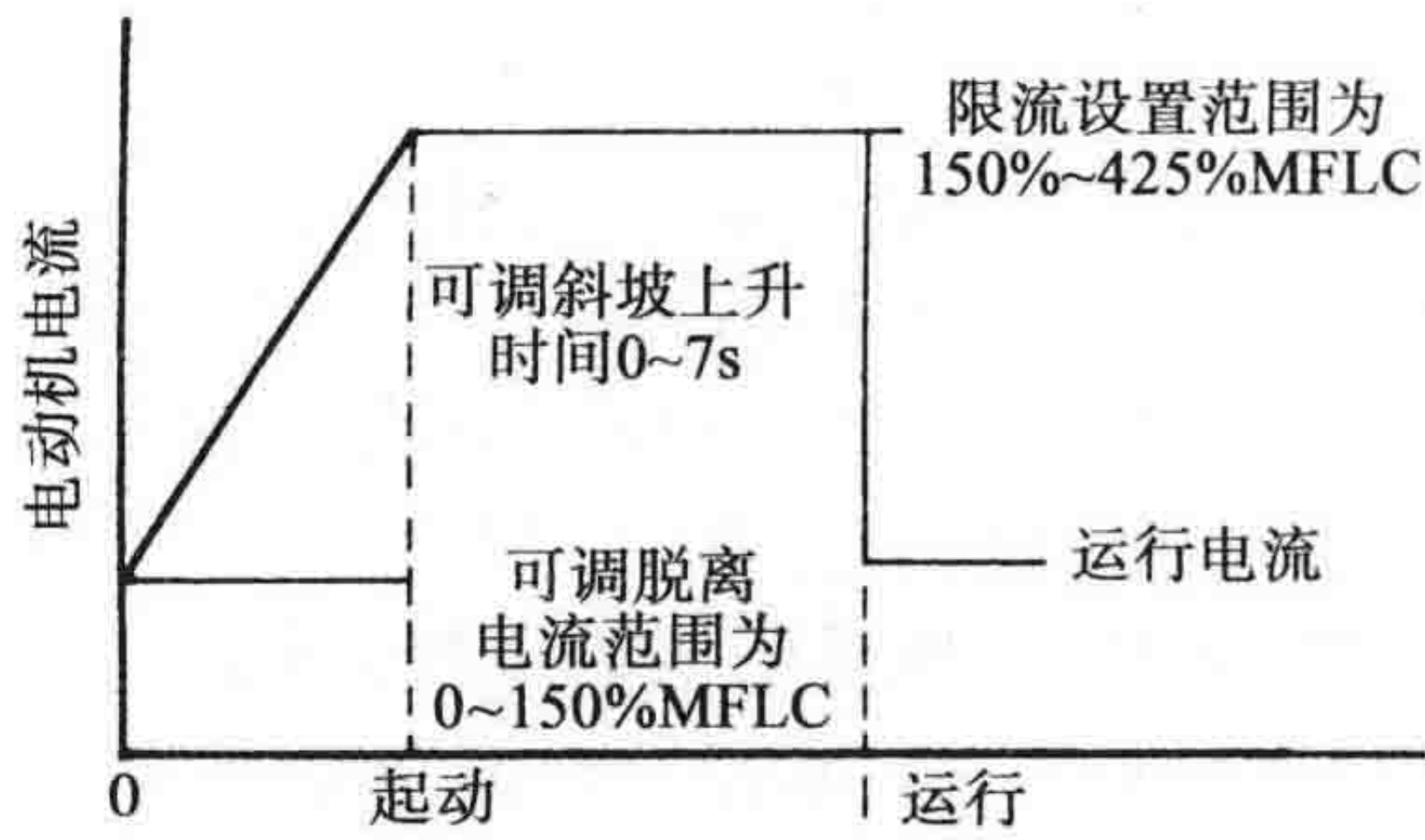


图 13-16 B-4D 模块 (Square D 产品)

**加速 / 减速 (B-4E 模块)** 此选项提供了软起动和软停止。起动特性与斜坡电压起动的 B-4C 模块相同。该选项也允许在 3~30s 的可调时间内线性减小电动机的电压从 50% 到 0%，从而提供一个软停止。紧急停止的规定也包括在内 (见图 13-17)。

如下这些选项中的任意一项发生时，控制器将关闭，且相应的 LED 将点亮。如果控制器终端施加三相电源，那么在起动过程中被禁用的三相不对称功

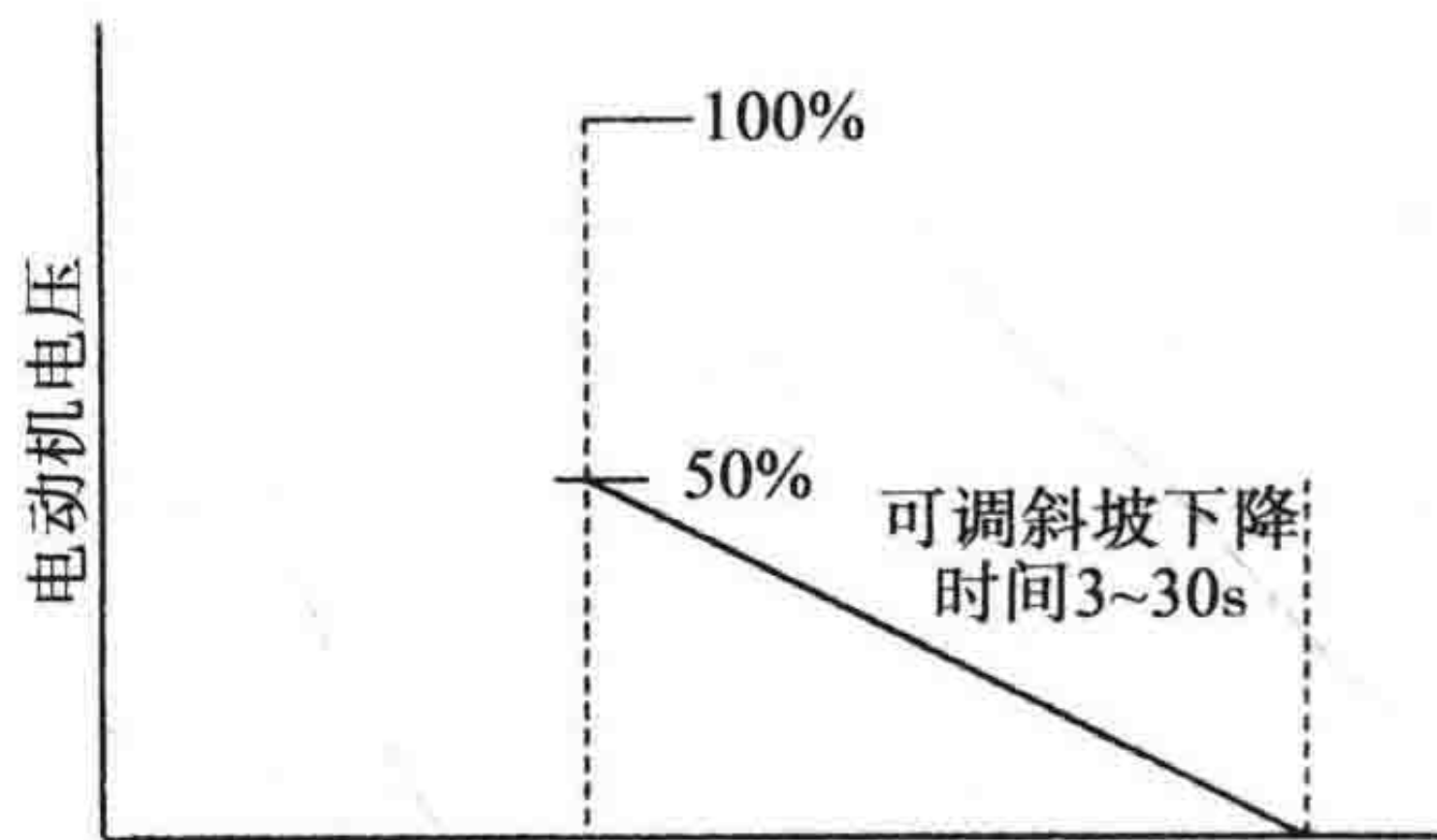


图 13-17 B-4E 模块 (Square D 产品)



能将被激活。当电压不对称超过不对称设置限值时，就会产生故障状态。电压不对称设置从 5%~14% 可调（由 NEMA 标准定义）。

当控制器终端施加三相电源时，激活反相功能。如果三相电源的相序不正确，那么就会发生故障状况。如果没有 B-7 模块，那么控制器的相位就不敏感，并且可在任何相序下进行操作。

当电动机加速到额定转速后，欠载功能被激活。当电动机负载低于欠载设置值时，就会发生故障，电动机的欠载设置值在满载电流的 0%~90% 范围内是可调的。这一功能可以通过调整欠载设置值为零使之失效。

#### 13.6.4 B-5 模块

B-5 模块确定 SCR 的正确触发顺序。

#### 13.6.5 B-6 模块

B-6 模块提供了 SCR 的触发相位角，它决定了每个 SCR 的导通百分率。

#### 13.6.6 B-7 电压监控器模块

这个可选模块提供了 3 个独立的功能：

1. 三相不对称。
2. 反相。
3. 欠载。

#### 13.6.7 B-8 节能模块

节能模块将在负载发生波动时自动调节电动机的电压。电动机将保持额定转速以及所需的转矩，但在负载减小时消耗较少的视在功率。如果负载增大，则模块将通过增加视在功率的消耗发出响应，这样电动机和负载的速度不会慢下来。此功能不能用于有短路接触器的控制器上。

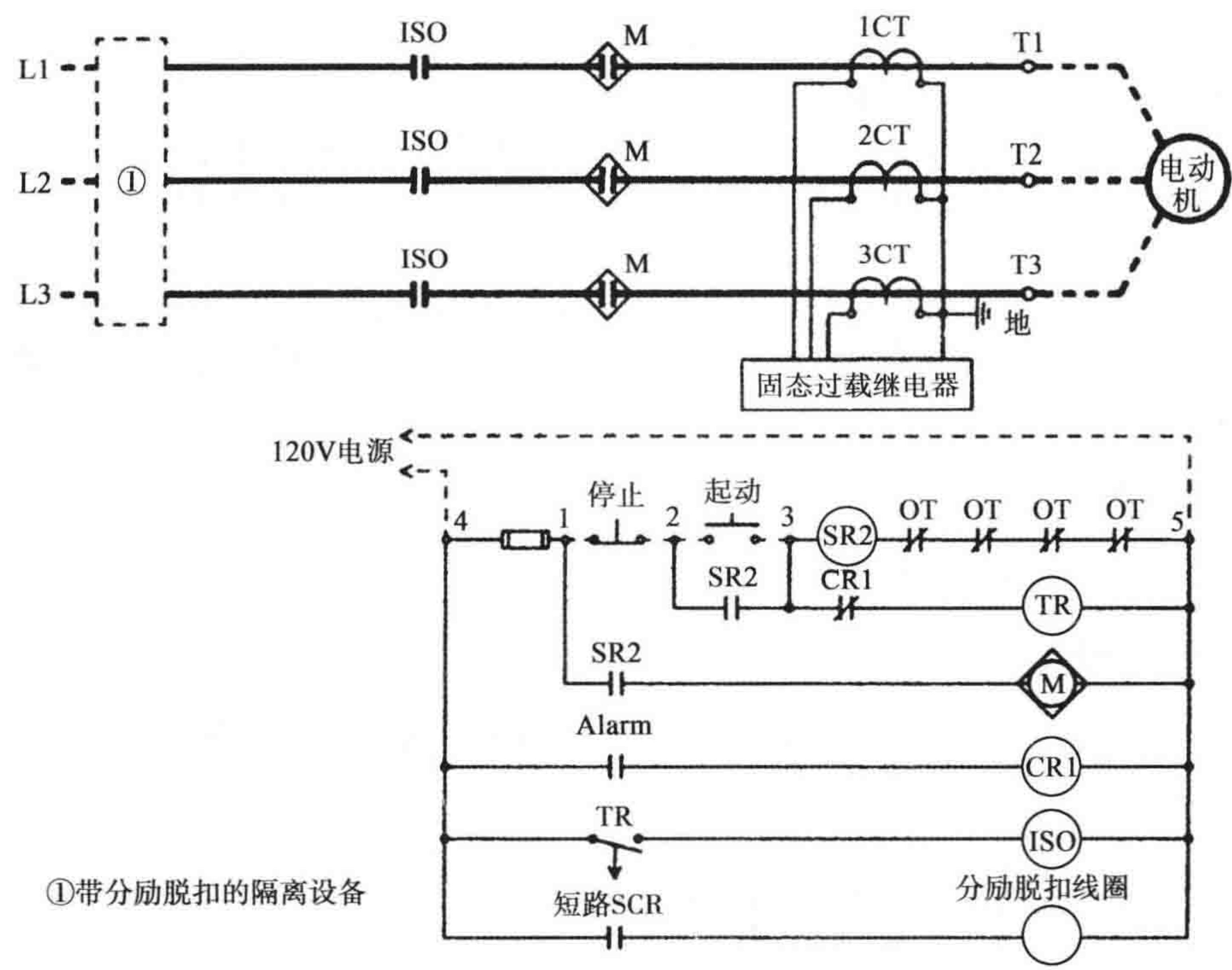
### 13.7 短路 SCR 开关

如果 SCR 短路并被检测到，则短路 SCR 开关将翻转到“是”位置。该开关也将跳开控制器之前的分励脱扣断路器（如果有的话）。如果在控制器和电动机之间出现断路，短路 SCR 电路将会跳闸。如果在控制器与电动机之间有打开的隔离开关，这种情况可能会发生，并且隔离接触器应放在控制器的前面。电动机负载必须连接到所述的控制器上，以防止短路的 SCR 电路引起跳闸。

### 13.8 固态基础接线图

图 13-18 所示为一种有隔离接触器的固态减压控制器。记住安装在控制器上的 M、SR2、OT、alarm（报警器）。短路 SCR 和 up-to-speed 继电器及其内部接线。图 13-19 给出了具有短路接触器的固态减压控制器，图 13-20 给出了具有短路接触器和隔离接触器的控制器。





- 注意：1. M、SR2、OT、alarm、短路 SCR 和 up-to-speed 继电器安装在控制器上，而且在内部接线。
2. M 表示固态减压控制器的线圈。
3. SR2 继电器触点控制起动和停止的顺序，而且有可能作为电气联锁触点来使用。
4. OT 为过热开关，当条件具备时，过热开关触点将断开。
5. OL 是过载继电器的触点，当出现下列情况时触点将断开：过载，L1、L2 或 L3 电压不存在，120V 控制电压不存在。
6. 当出现过载时，报警器 (alarm) 触点闭合。
7. 当一些情况存在时，短路 SCR 触点闭合。它可作为断路器来使用或者和带有分励脱扣线圈的隔离开关一起使用。
8. 当 SCR 全导通时，up-to-speed 触点闭合。它将作为短路继电器来使用。

图 13-18 有隔离接触器的固态减压控制器 (Square D 产品)

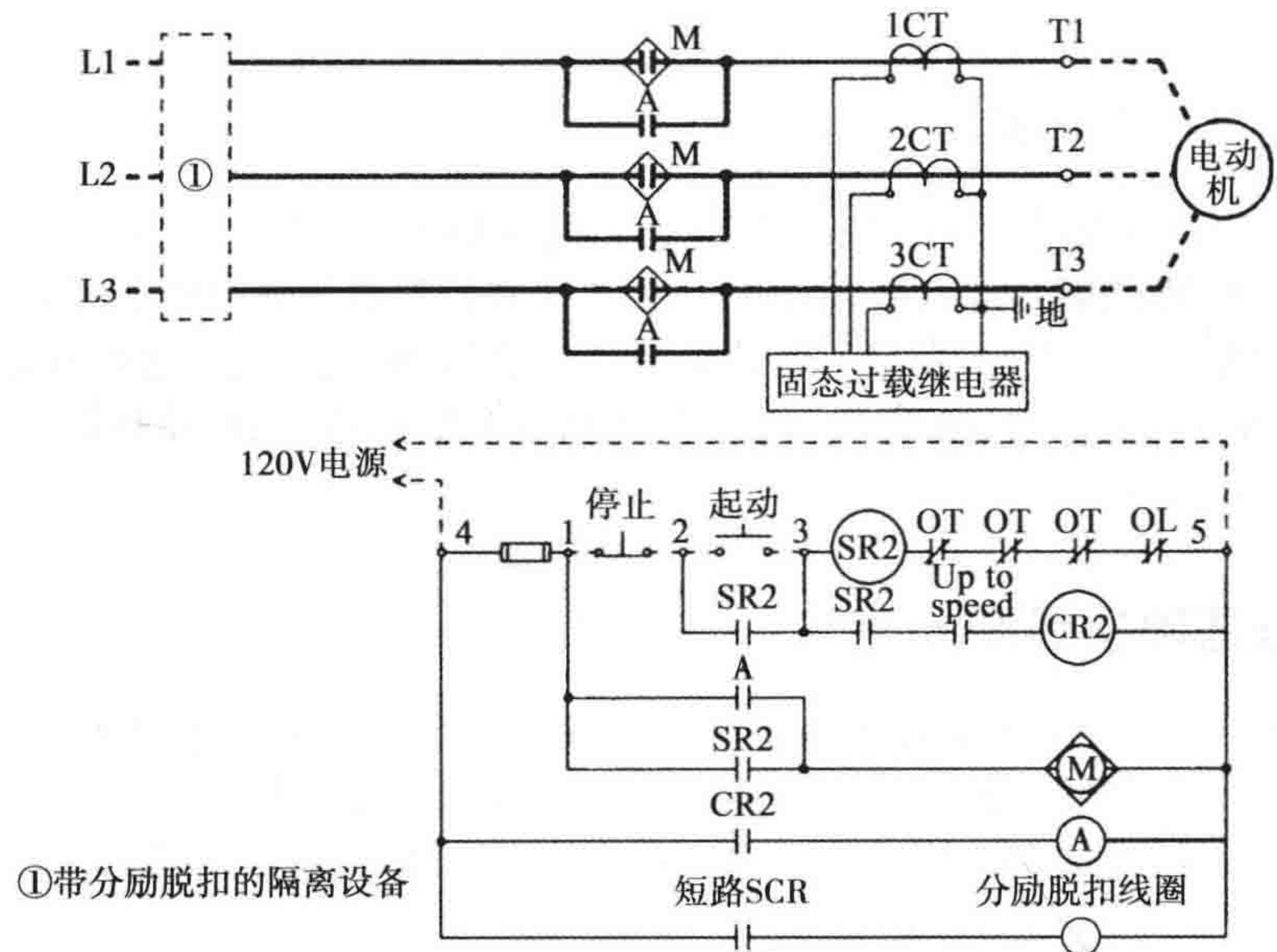


图 13-19 有短路接触器的固态减压控制器 (Square D 产品)



13.9 双向触发二极管

从根本上来说，双向触发二极管是一个双端器件。它具有并行反向组合的半导体层，这种组合允许该装置在任意方向上被触发（见图 13-21）。你应该记得，SCR 只允许在一个方向触发，因此，当交流电压施加到其端子上时，双向触发二极管具有双向导通的能力。这种器件有很多应用，其中之一就是对交流电动机的控制，它们也可以用在接近探测器中。

注意，图 13-21 所示的符号显示该器件没有门极或者控制极。它可以用作双向触发二极管（见图 13-23b）。当施加足够的电压使其导通后，电流可以向任意方向流动。通常，触发电位可以为任意方向，大小约为 30V。双向触发二极管处于关闭状态，直到跨越端子  $T_1$  和  $T_2$  的电压超过了导通电压。在电源控制电路中，无论是双向可控硅还是 SCR，双向触发二极管都可对门极脉冲进行更有效的控制。

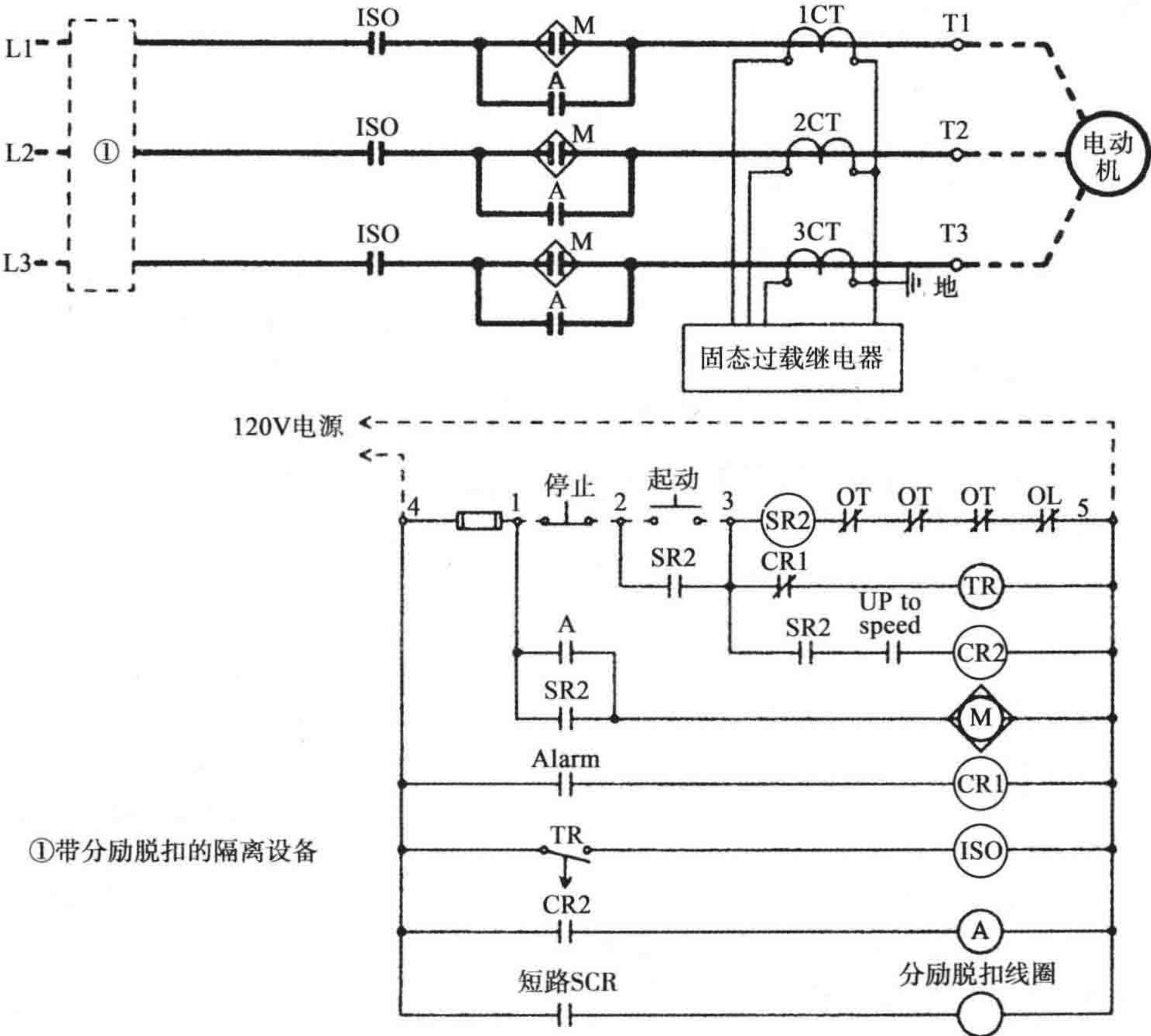


图 13-20 有短路接触器和隔离开关的固态减压控制器（Square D 产品）

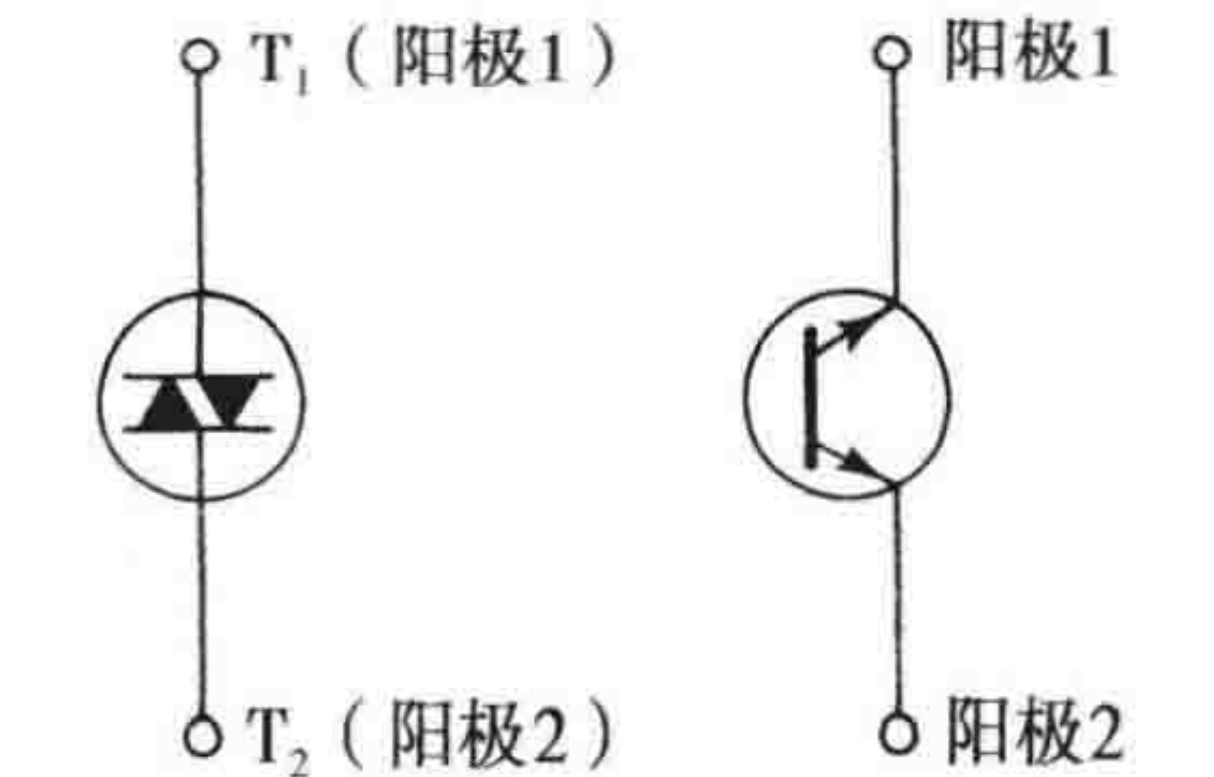


图 13-21 双向触发二极管的符号



13.10 双向可控硅

从根本上来说，双向可控硅是一个具有门极的双向触发二极管。门极端子控制这种双边设备的导通条件，门极电流可以控制该器件在任意方向上导通，这类似于 SCR。然而，双向可控硅的特点和双向触发二极管有所不同。图 13-22 显示了双向可控硅的符号和门极端子的位置。

将双向可控硅置于电路中，可以说明它的工作状态（见图 13-23）。在图 13-23 所示方案中，开关用于为双向可控硅选择各种条件。负载可以是一个灯泡也可以是一台交流电动机，当开关处于位置 1 时，没有连接门极，双向可控硅不导通，电动机不运行，没有触发电压施加到门极接线端；当开关处于位置 2 时，一个二极管接于电路中，它的方向性使得当电路处于交流正半周时，允许触发电压施加到门极上，该双向可控硅导通，但仅有一半的交流正弦波。

这意味着，只有大约正常电流的一半被施加到电动机上，这与 SCR 类似。对交流电动机施加这种类型的脉动直流电压可能会有问题。当开关转到位置 3 时，完整的交流正弦波电压会施加到门极上，当然电阻  $R$  的存在会使电压降低。既然交流正弦波的两个半波都施加到门极上，那么双向可控硅能够全周期以全电流施加到交流电动机上，电动机可以全速运行。 $R$  应为可变电阻，而且它的值将控制流过双向可控硅施加到电动机上的交流电流的大小。

图 13-23b 是应用双向可控硅的另一个方案。在这里，一个双向触发二极管用来触发双向可控硅，触发电压由可变电阻器控制。这个方案可以更好地调节电动机。

双向可控硅被封装成与 SCR 类似，因此，很难或根本不可能目测知道封装的是哪种类型的器件。封装表面上的数字可以表明它是一个 SCR 还是一个双向可控硅。现在有能处理超过 10kW 负载的双向可控硅。

13.11 发光二极管

发光二极管 (LED) 可用作固态控制器模块面板上的指示灯。它们体积小，作为指示灯其亮度足够，并且所需电流非常小。它们有红色、绿色和琥珀色（见图 13-24）。

发光二极管是由半导体材料砷化镓结制成的。电子空穴对的产生是一个可逆的过程，当一个电子

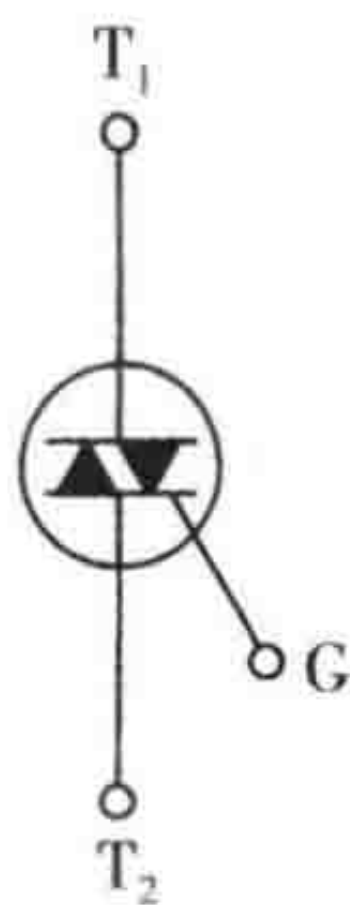
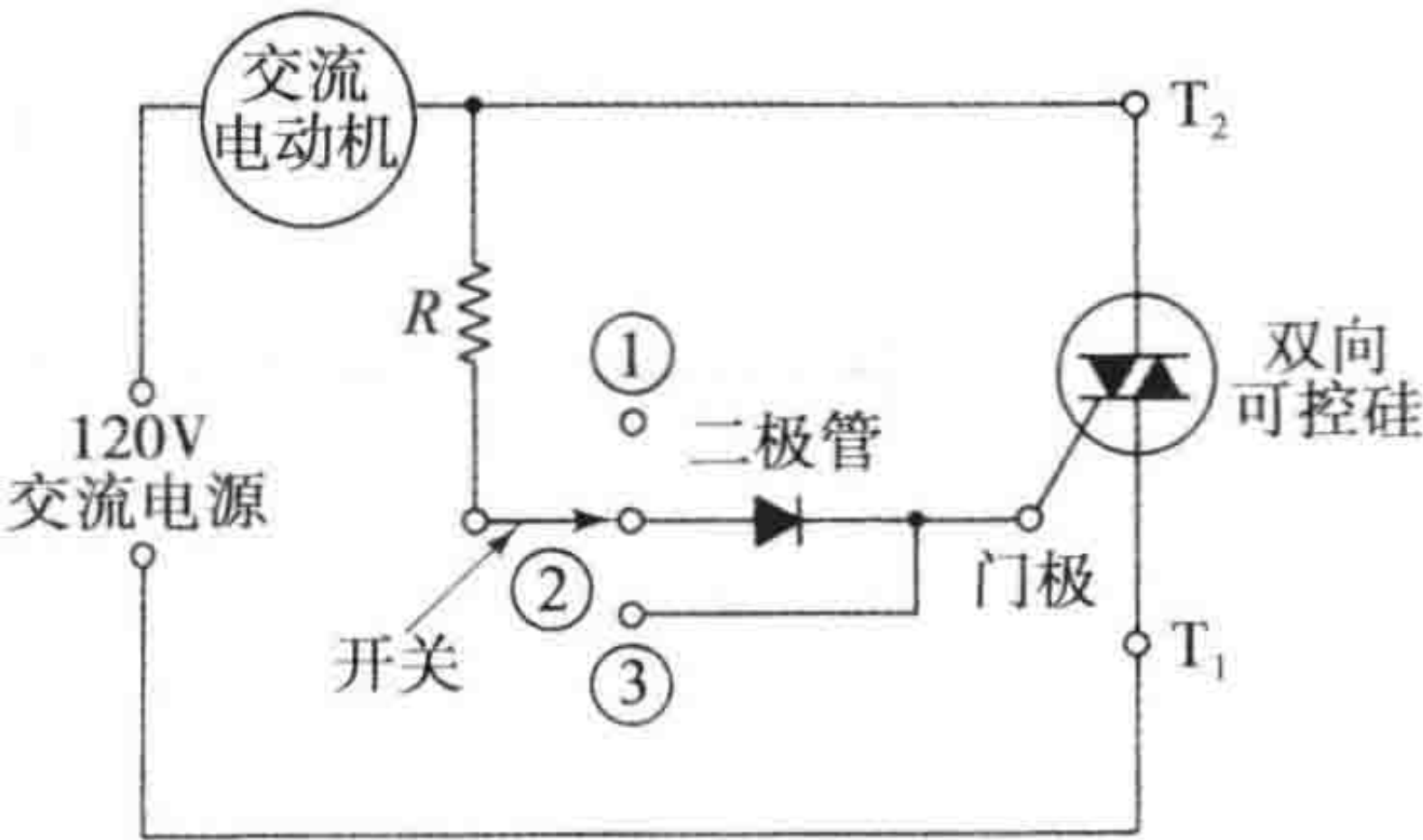
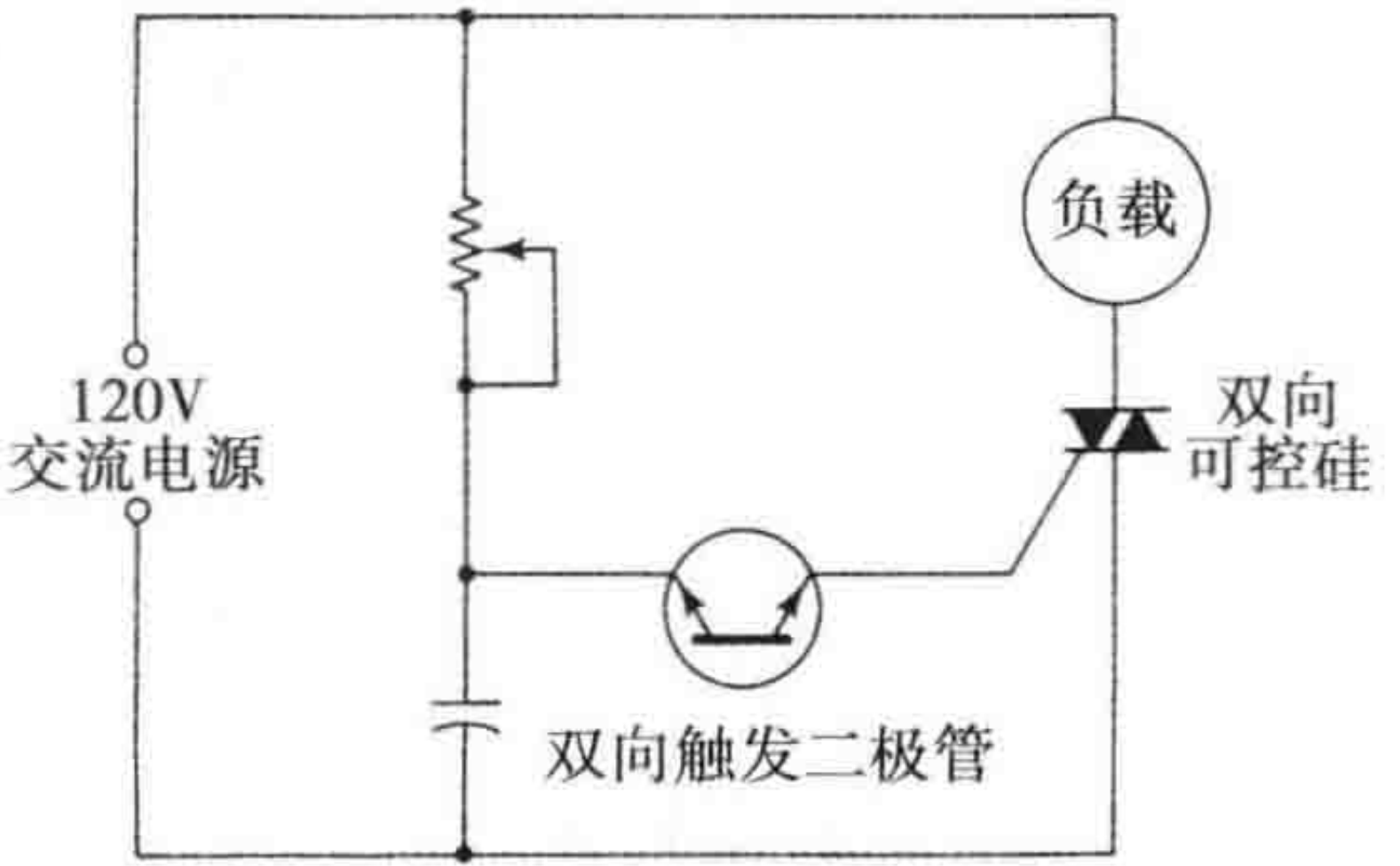


图 13-22 双向可控硅的符号



a) 双向可控硅 (Triac) 的电路



b) 使用双向触发二极管触发门极的双向可控硅电路

图 13-23 控制电路图



图 13-24 发光二极管 (LED) 的符号



与一个空穴重新结合时，能量被释放。在砷化镓中，电子直接落入空穴，而且一个能量光子被发射出去。砷化镓结在可见光范围内，为光的辐射提供了最佳条件，有些也用于红外辐射。

LED 可用作指示灯。在大多数情况下，必须将它们与一个电阻串联使用。它们也用作计算机电路的逻辑指示器。当反向偏压时，LED 不导通。这意味着，为了使其发光，你必须对阴极和阳极有正确的极性连接。当正向偏压时，它能够传输电流并且发光。通常 LED 的工作电压为 1~3V。过大的电流会损坏 LED，所以在大多数电路中，要求有一个串联电阻。

13.12 采用固态控制器和电磁装置

当固态控制用于有电磁装置的电路中时，就会有“脏”电源的问题。每当线圈或电感通电和断电时，磁场的形成和崩溃会产生尖峰和其他类型的电噪声。这些尖峰可能会导致固态器件出现问题，因为它们易受电压冲击和尖峰的影响，而继电器线圈的通电以及电动机的启动和停止是常见现象。

13.13 浪涌电压抑制器

浪涌电压抑制器被安装在磁性装置的线圈上，如继电器、接触器和电动机起动器。浪涌电压抑制器可以将它的引线连接到线圈端。抑制器的目的是限制电压噪声和过电压尖峰，当线圈电路打开时起动器线圈就会产生这种尖峰。

图 13-25 所示为浪涌电压抑制器。它易于安装，对于具有 120V 和 240V 交流线圈的起动器而言，直接跨接在接触器的线圈端即可。使用抑制器的目的是对于需要使用固态器件进行接口的设备，限制其电压瞬变。每个线圈都需要一个抑制器。

图 13-26 给出了两种浪涌电压抑制器，用于降低由于线圈回路断开而产生的高瞬态电压。这些抑制器与继电器线圈以及其他机电设备一起使用。

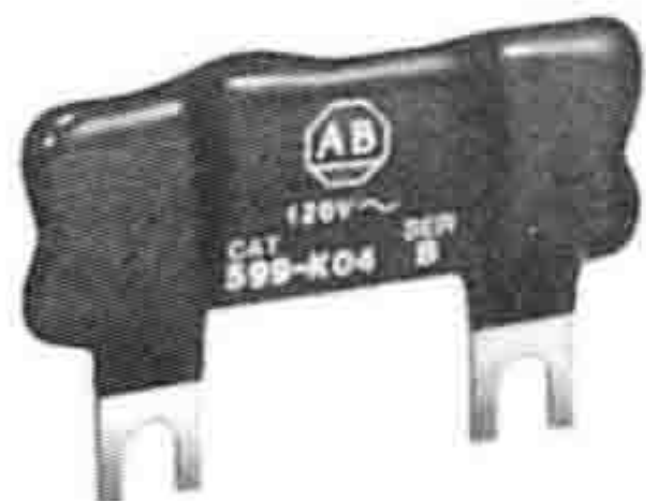


图 13-25 安装在线圈端子上的浪涌电压抑制器 (Allen-Bradley 产品)



a) 安装在继电器下面



b) 安装在线圈端子上

图 13-26 浪涌电压抑制器 (Allen-Bradley 产品)

图 13-27 也是一种浪涌电压抑制器，用于防止由于机电设备操作引起的电压瞬变对固态器件的影响。

抑制器与继电器、定时器、交流接触器以及起动器一起使用。这种抑制器由用环氧树脂密封的电阻器与电容器组合形成。



图 13-27 电阻电容器组合的浪涌电压抑制器 (Allen-Bradley 产品)

13.14 防雷

雷电能够带来较高的冲击电压。使用二级浪涌避雷器可以防止产生与雷电相关的问题 (见图 13-28)。图 13-28a 所示的避雷器适用于单相、两线或三线接地系统。安装两个就可以为 208Y/120V 交流三相四线系统提供保护。这种抑制器能够处理 940V 下 1500A、1600V 下



5000A、2200V 下 10 000A 以及 3250V 下 20 000A 的电流。

图 13-28b 所示的避雷器是一种适用于相对地电压最大为 650V 交流系统的避雷器。它用于三线或四线接地系统中，如单相三线、三相三线或三相四线系统。这种避雷器可以处理 2200V 下 1500A、2900V 下 5000A、3400V 下 10 000A 以及 4000V 下 20 000A 的电流。这些电压是放电电流通过避雷器时，避雷器所承受的最大放电电压。放电电流是绝缘击穿后避雷器中流过的电流。



图 13-28 二级浪涌避雷器 (Square D 产品)

13.15 思考题

1. SCR 代表什么？
2. SCR 另一个名字是什么？
3. 三相不对称检测是什么意思？
4. 反相是什么意思？
5. LED 是如何在固态器件中使用的？
6. 什么是“脏”的电源？
7. 浪涌电压抑制器的作用是什么？
8. 如何在雷电场合下保护固态器件？
9. 双向触发二极管用来做什么？
10. 什么是双向可控硅？



# 第14章

## 转速控制与监测

### 14.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 描述出电动机的转速是如何控制的。
2. 解释同步电动机和感应电动机之间的差异。
3. 描述出同步电动机如何实现励磁。
4. 解释同步电动机的转速是如何确定的。
5. 描述一种阻尼器。
6. 解释同步电动机的各种起动方法。
7. 描述三级开关法（Korndorfer）起动。
8. 解释电阻调节转速原理。
9. 列出绕线转子电动机速度控制的类型。
10. 解释二次侧电阻控制绕线转子感应电动机的原理。
11. 列出使用固态调速控制器的原因。
12. 描述频率变化是如何改变电动机转速的。

### 14.2 电动机转速控制

在某些情况下对电动机的转速进行控制是可以实现的。然而，控制转速总有一些代价。电动机通常设计运行在给定转速上，与该给定转速有任何的偏离都会导致其起动转矩减小或运行发热。

工业生产过程要求电动机可以变速运行，这意味着必须要设计实现变速运行的方法。首先需要研究的就是电动机本身的运行特性，即多大的转速变化是电动机可以或者不能承受的。

### 14.3 笼型电动机

笼型感应电动机（见图 14-1）的转速取决于磁极的数量和交流电源的频率，在正常负载和正常电压情况下几乎不变。然而，当负载达到恰好足以增加电流以满足所需转矩时，该类电动机的转速会减慢。

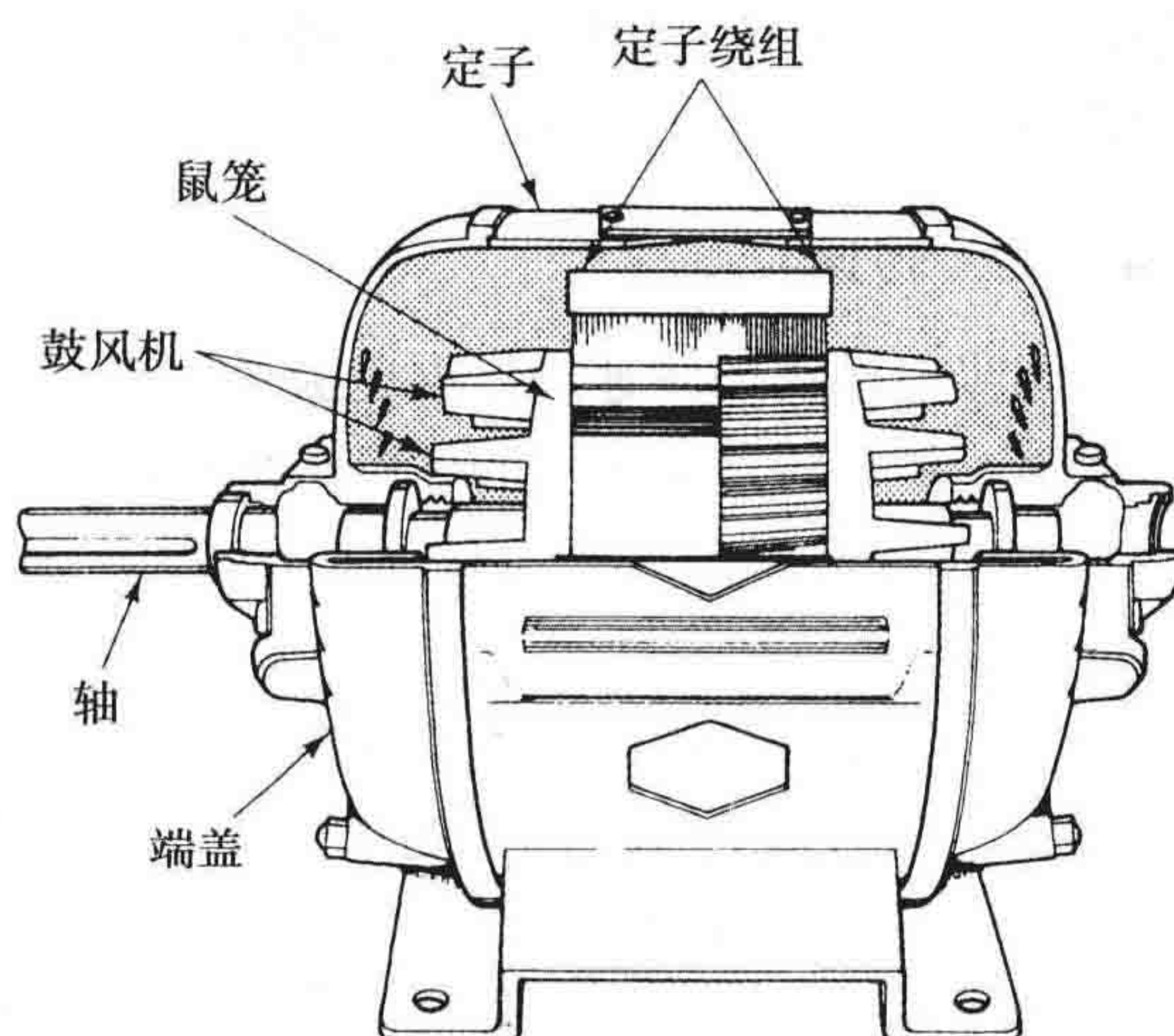


图 14-1 笼型感应电动机



对于任何给定负载，同步转速和负载转速的差值称为转差。转差通常表示为同步转速的百分比。

同步转速等于旋转磁场的速度。转差的大小取决于负载，负载越大，转差越大，即电动机转得越慢。但是，这种转速的减小十分轻微，即使在额定负载时，也仅相当于同步转速的1%~4%。因此，笼型电动机被认为是一种恒速电动机。

这种类型的电动机不适用于需要大范围调节转速的工业场合中，因为其转速只能通过频率、极数或转差进行控制。通过改变频率来控制转速变得非常流行。极数可以通过使用两个或更多个不同绕组也可以通过重新连接同一绕组组成不同的极数来实现。

14.4 同步电动机

同步电动机是一种转子旋转与交流励磁电流相位一致的电动机。实际上这种情况只是近似成立，因为总是有一个微小的相位差。当接入与该发电机有相同相位、频率和波形的电流时，任何单相或多相交流发电机都可以作为同步电动机运行，前提是在本身是交流发电机的情况下，在并入电路之前它必须加速到同步转速。

同步电动机可以有旋转电枢或旋转磁场，大多数同步电动机是旋转磁场型的。静止电枢附着到定子架，而磁极固定在与轴一起旋转的框架上。

磁场线圈由直流电流激励，该直流激励可以是来自一个小的直流发电机（通常安装在和电动机相同的轴上并且被称为励磁机），也可以是其他方式电源。图 14-2 显示了一个直接连接的励磁机。

在当前大多数的工业应用中，固态电子技术为这种类型电动机的运行提供了所需的直流电流。固态电子技术还提供了控制电动机转速所需的频率变化。

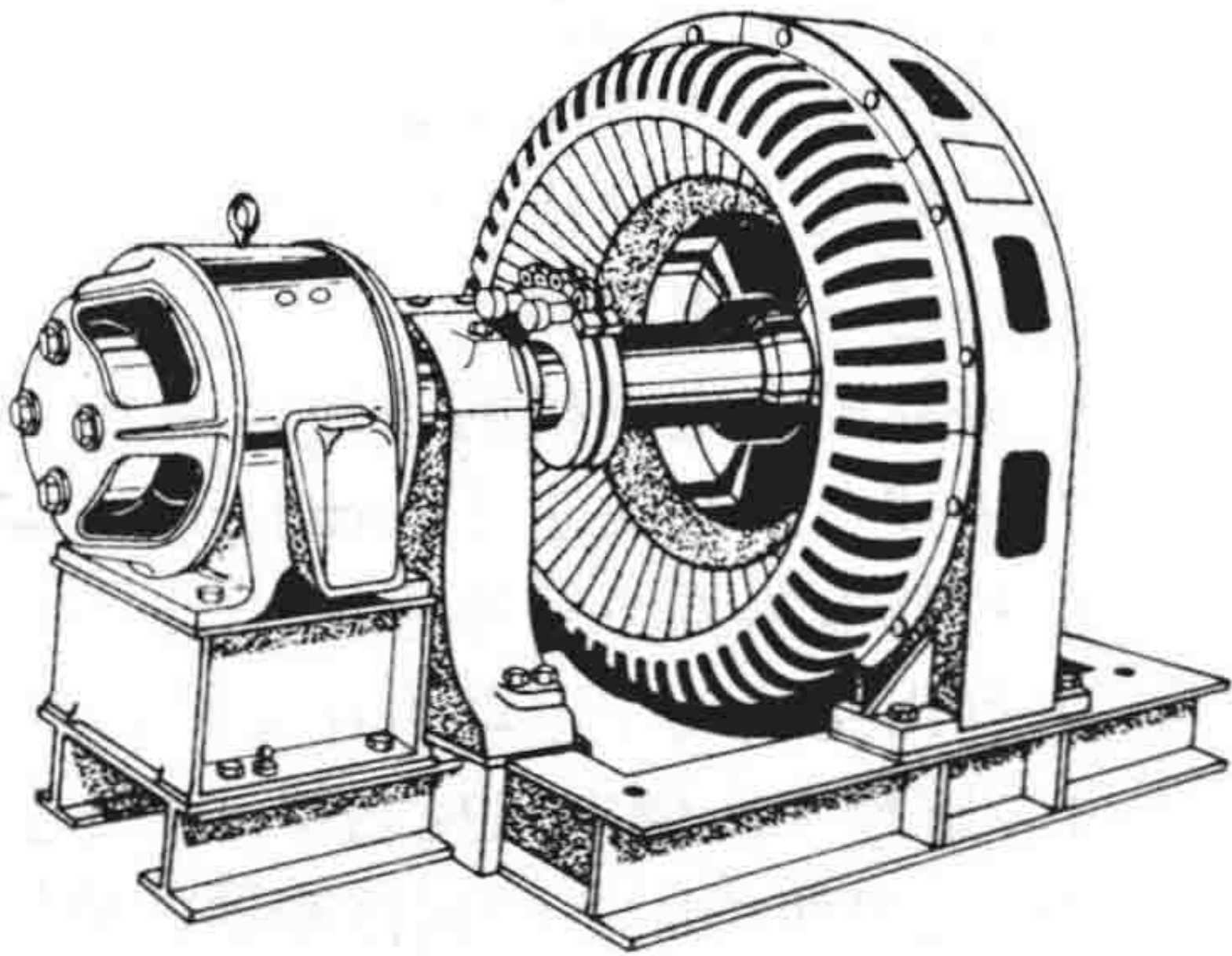


图 14-2 直接与励磁机连接的同步电动机

14.4.1 励磁磁场

同步电动机的励磁是通过一个独立的由感应电动机驱动的励磁机组提供的，也可以通过直接连接或带式励磁机，或通过一个恒定的直流电压源（如一个站级母线）来实现。标准励磁电压是 125V 或 250V，但电动机励磁绕组的励磁电压被设计为比该电压低大约 10%，以允许线路上发生电压跌落。

14.4.2 转速

同步电动机的转速由供电电流的频率与电动机的极数来决定。这意味着，在给定频率和极数下，运行转速是恒定的。电动机转速表达式如下所示：

$$\text{转速} = \frac{\text{频率} \times 120}{p}$$

式中  $p$  是电动机的极数，频率的单位为 Hz，转速的单位为 r/min。

所有电动机的极数都是偶数，所以在 60Hz 的频率下，电动机转速从两极时的 3600r/min 到 90 极时的 80r/min 都有。尽管在较低转速下，也允许电动机直接连接负载，但低运行效率和功率因数使得感应电动机不能方便地使用。

一些电动机需要运行在多个转速下，但是在每一个特定的运行转速下均为恒速电动机。



例如，当速度比要求为 2:1 时，一台单机座、双速同步电动机可以满足要求。当所需的两个速度不是 2:1 的比例时，就需要使用四速电动机。

单机架、双速电动机通常是凸极型结构的，可以通过改变极数实现高低转速转换。高转速可以通过重组磁极，使两个相邻磁极获得相同的极性，让紧随着的两个磁极极性相反来实现，这相当于减少了一半的极数以实现高速运行。在定子连接上也会产生相应的变化。这个转换通常是借助手动操作变极设备或电磁起动器自动完成的。图 14-3 展示了一个同步电动机和一个有励磁变阻器、励磁开关和励磁仪表的励磁机。

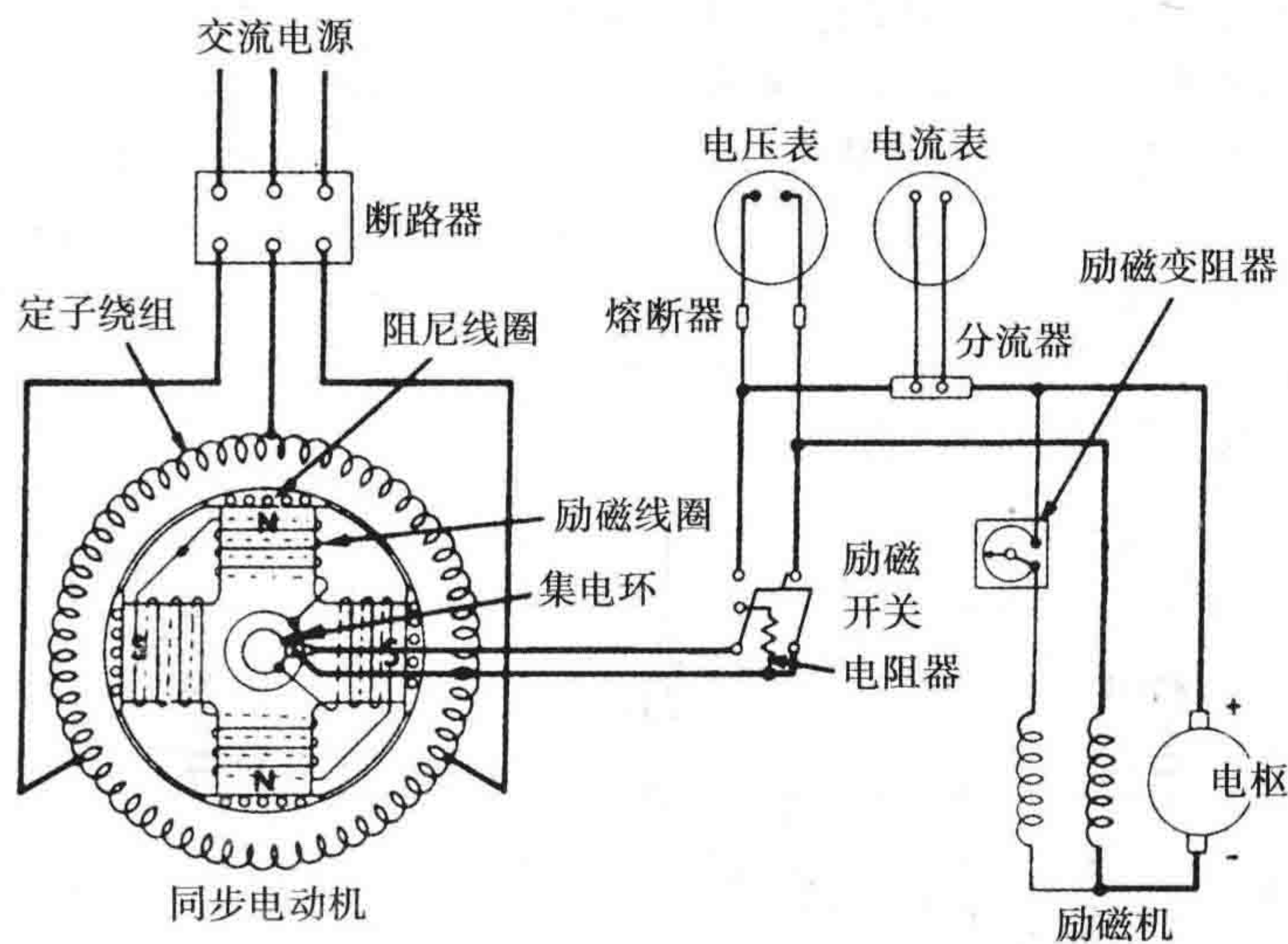


图 14-3 带有励磁变阻器、开关和仪表的同步电动机和励磁机

14.4.3 起动

为了实现同步电动机自起动，笼形绕组通常放置在转子上。在电动机转速稍低于同步转速时，给转子通电。当起动同步电动机时，直流磁场不被激励，直到转子转速实际上已经完全达到同步转速。转子达到此转速所需的起动转矩是通过感应产生的。

在磁场中除了直流绕组，同步电动机一般设有阻尼器或阻尼绕组。它由在磁极表面内嵌入槽的黄铜或铜的短路条组成，并在两端通过端环接合在一起，此绕组通常称为笼形绕组。它可使电动机带载起动时获得足够的起动转矩。

使电动机达到同步转速所需的起动转矩，称为牵入转矩。电动机在不失步的情况下可以输出的最大转矩称为牵出转矩。

当同步电动机的定子绕组由连接的交流电激励时，立即会建立起一个旋转磁场。旋转的磁力线切割转子的阻尼绕组，在阻尼绕组中会产生感应电流。该电流和旋转的定子磁场相互作用，产生起动转矩并使转子加速。

当转子转速接近同步转速时（由于感应电动机存在阻尼绕组），直流磁场的磁极会被激发，并且这些磁极的强磁通将导致它们和定子旋转磁场的磁场共同被拖入同步转速。在正常运行期间，转子以同步转速持续旋转仿佛直流磁极被锁定在定子旋转磁场的磁极上一样。因为在转子全速运转后同步电动机没有转差，所以正常运行时在阻尼绕组的短路条中也不会产生电流。

14.4.4 起动方法

同步电动机作为感应电动机起动时，在起动以及加速期间施加在电动机上的电压应降



低。该起动电压的降低通常是通过一个起动补偿器（自耦变压器）来实现的，和感应电动机起动中所使用的方式类似。

**自耦变压器起动** 对于自耦变压器起动，通常的做法是先闭合起动接触器，连接定子至低电压。当转速接近同步转速时，起动接触器触点断开，运行接触器触点闭合，由此连接电动机到正常线电压上。达到同步转速之后，通过一个适当的电阻将励磁开关闭合。此时调整磁场电流使电动机运行在期望的功率因数上。

**全压起动** 如果电动机在高起动转矩下运行，那么使用延时过电流继电器进行全压起动是常见的做法。在起动冲击电流可能会损害电动机绕组之前，继电器就会动作。图 14-4 所示为典型的同步电动机的全压起动器。全压起动和减压起动已经都讨论过了，减压起动器原理图如图 14-5 所示。请注意观察自耦变压器是如何被切换到电路中的。此减压起动的方法使用了 3 个开关或接触器。两个起动开关或接触器被连接到自耦变压器或补偿器的每一侧绕组上，并且在同一时刻关闭。在电动机已经几乎达到同步转速时，起动开关断开，运行开关闭合。虽然这在理论上可行，但并不总是成功的。电动机可能不会同步，此时可能要重新开始，再次尝试让其接近同步转速或使用自起动方法。

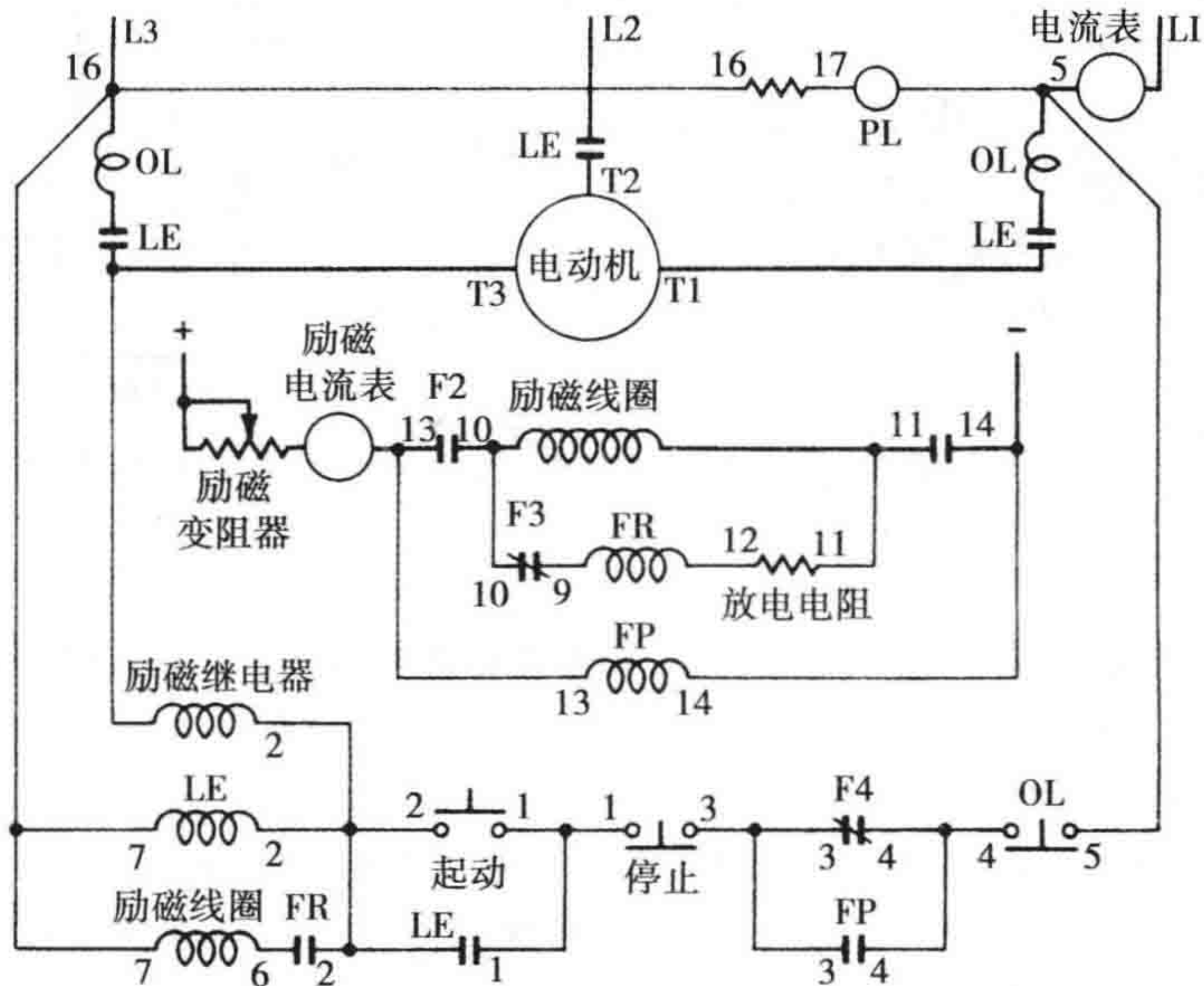


图 14-4 电动机全压起动器原理图

**电抗起动** 电抗起动类似于减压起动的方法，所不同的是在第一步使用电抗串联在电动机电枢上代替自耦变压器来实现。在串电抗起动的方法中，与使用补偿器相比，在第一步中若要达到相同的转矩，线路需要输入更多的电流。其优势在于电动机切换到运行电压时不需要断开电路，电压的变化通过短接电抗来实现。

**电阻起动** 电阻减压起动的典型电路如图 14-6 所示。开关 1 首先闭合，电动机通过全电阻连接到电路上。之后开关 2、3 和 4 按一定的时间间隔依次闭合。每个开关，依次短接一部分电阻。有时，当电力公司对起动电流有明确几步要求时，应采用这种起动方法。

**三级开关法（Korndorfer）起动** 电抗起动和电阻起动类似于使用三级开关法起动电动机，它允许电动机在不断开电路情况下起动。电动机先通过补偿器上一个合适的抽头进行连接，再将补偿器连接到线路上进行起动。全电压是通过下述步骤获得的：首先断开起动补偿器的中性线，使电动机通过与其串联的部分补偿器绕组来运行，之后整个补偿器绕组被短







开开关 2，该补偿器的降压抽头会断开，就完成了电动机的正常运行连接。

**其他起动方法** 一个辅助原动机，通常是感应电动机，可作为起动器。这个起动方法适用于没有笼形绕组的电动机，或者是交流发电机转换成电动机时使用。这类电动机无法在带载下起动。

14.4.5 同步电动机的应用

同步电动机可用于功率因数补偿，驱动恒定转速和恒定负载以及电压调节。由于同步电动机具有较高的效率，所以它们适用于需要恒速运行的大多数负载中。同步电动机典型的应用有：压缩机、风扇、鼓风机、行轴、离心泵、橡胶和造纸厂以及驱动直流发电机。

14.5 绕线式电动机

绕线式电动机不同于笼型电动机，其转子上有绕线绕组，而不是一系列导体条。电动机起动时在电路中插入外接电阻会使得电动机在相对较低的起动电流下产生一个高转矩。当电动机达到正常转速后，电阻逐渐去除，直到全速时转子被短接掉。通过改变转子电路中电阻的大小（见图 14-8），可在一定幅度内调节转速。

14.5.1 电阻调速

如果电阻大小合适并能够防止持续使用引起的过热，那么电阻可用于调速。在起动中所用的电阻器仅短时使用，但那些用于电动机连续减速的电阻都需要使用较长的时间。这意味着电阻器必须为了预定目的而进行筛选。

直流电动机能提供最有效的变速输出。但是，绕线式电动机，因为有可调节的转子电阻，所以它们是少数几个可用于转速控制的交流电动机。

绕线式电动机有一个绕线式转子。该绕组是一种绝缘线圈，它们不会像笼型电动机那样被永久短路，而是有规律地连接，以形成确定的磁极区域，这些区域与定子具有相同数目的磁极。这些转子绕组的端部被引出到集流环上，通常称为集电环。

感应出的转子电流通过集电环（电刷紧贴在集电环上）引到外部安装电阻上（见图 14-9）。这些电阻可以根据起动序列的需求来进行调节或改变。通过改变转子电路中的电阻，可以改变电动机的转速。一旦它已经达到同步转速，电阻就会被短接，而且电动机以类似于笼型电动机的特性运行。

然而，一些电阻可留在电路中以利于转速的控制。当然，该电阻器的大小（额定功率）应能够承受流过它的持续电流。将一个高电阻置于转子电路中，就可以在低起动电流的情况下产生高起动转矩。

14.5.2 转速控制类型

在转速调节范围较小，而且目标转速与线路频率对应的同步转速不一致，并且转速需要逐渐地或频繁地从一个改变到另一个时可以使用绕线式电动机。这包括压缩机、磨煤机、给煤机和传送带。

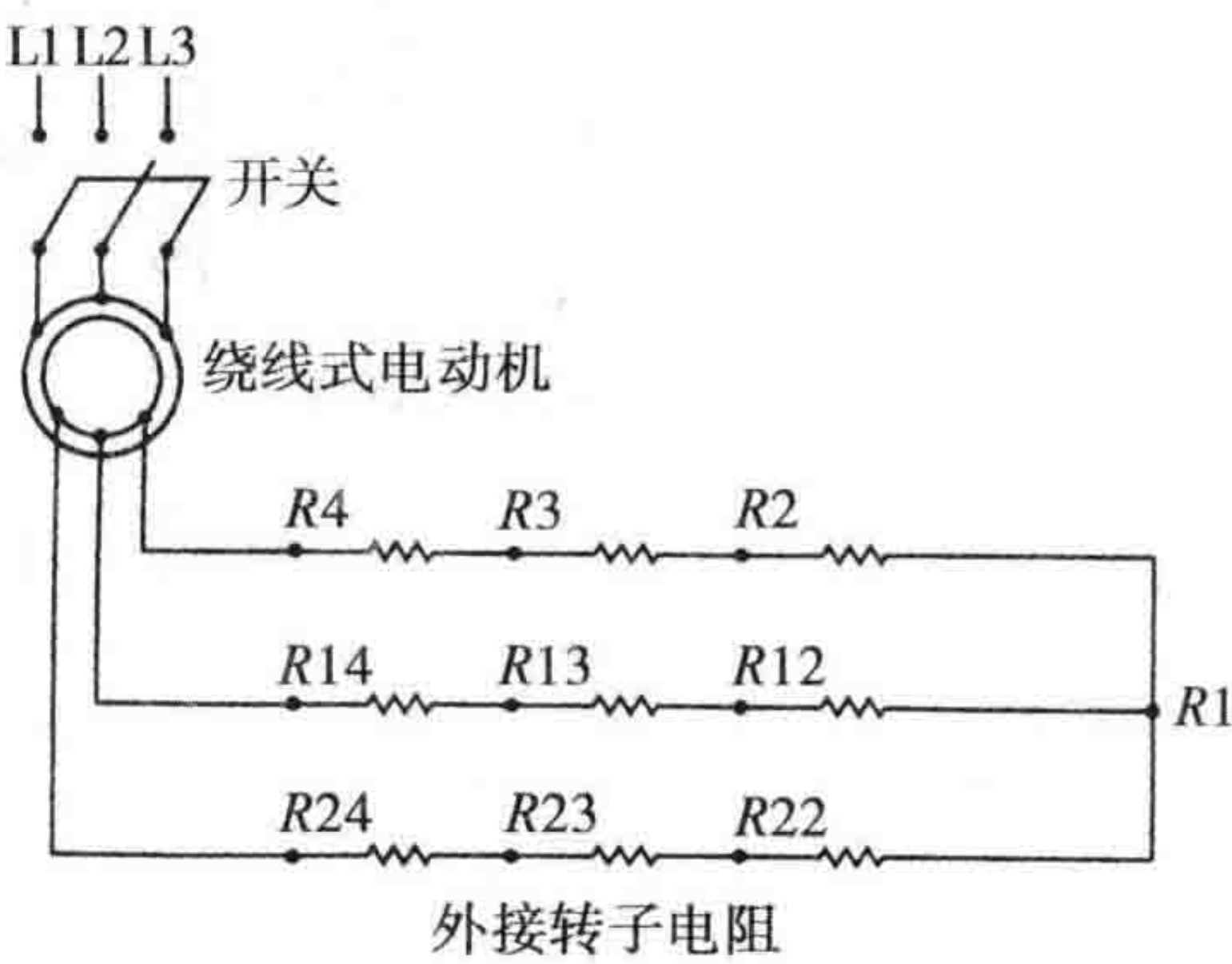


图 14-8 电阻器的连接接线图



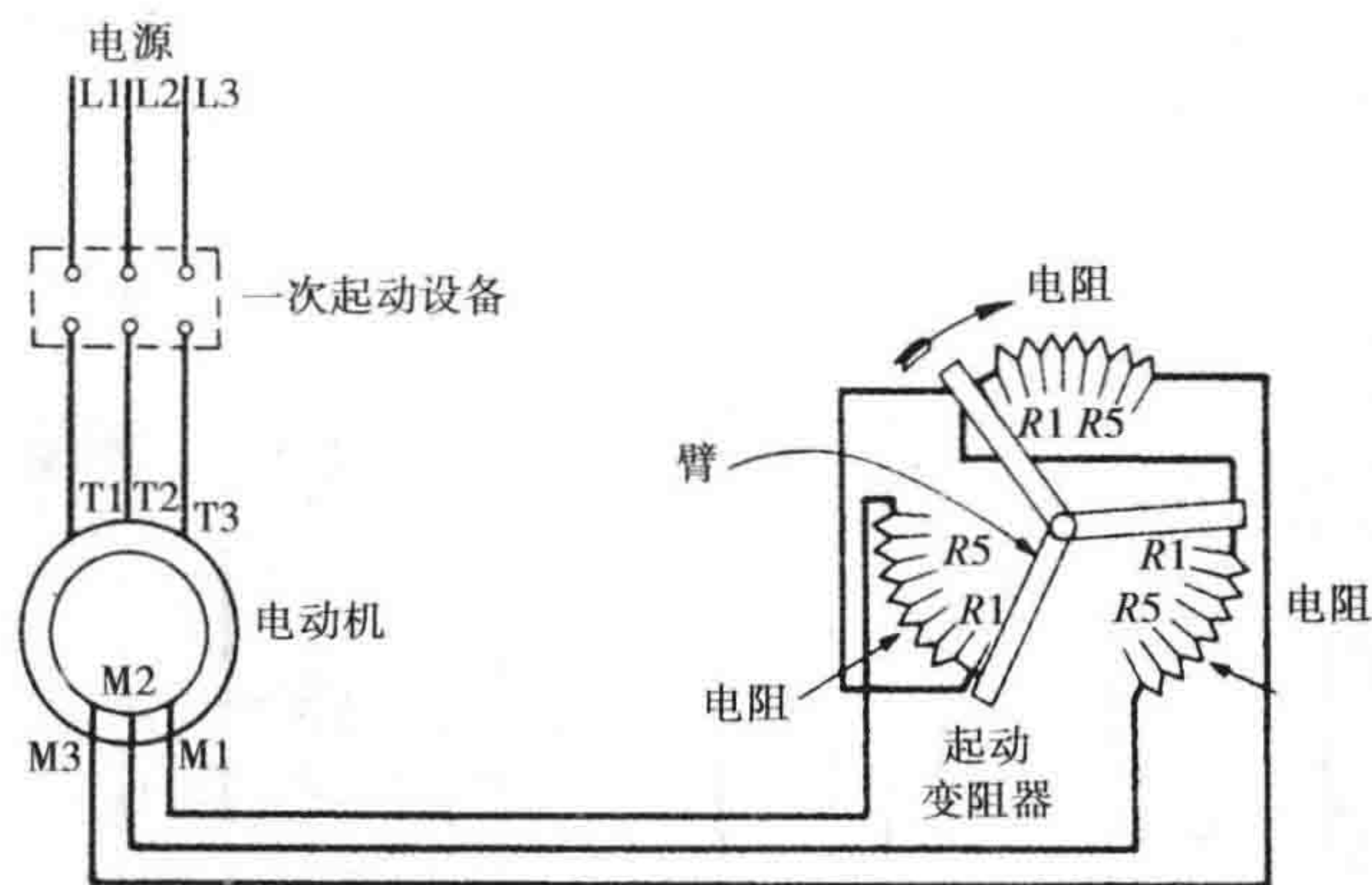


图 14-9 绕线式异步电动机的起动控制器

一个平滑且无跳跃的起动可以通过使用绕线式电动机来获得。它仅仅是提供了合适控制设备。

14.5.3 多路开关起动器

图 14-10 显示了一个典型的多路开关起动器连接到绕线式转子电路的接线。这种类型的起动器应用于功率高达 2000hp（1hp=746W）且转子电流高达 1000A 的大型绕线式感应电动机的转子电路中。连接杆是双极型的，并以机械方式保证其按预定顺序实现单一开关的闭合。由于开关设计为轮流交替操作，所以引入了延时元件以防止电动机过快加速。当最后一个开关闭合时，电磁线圈会使其保持在适当位置，因为有机锁互锁，所以其他开关均保持关闭。这种类型的起动器只是一个起动器，不能作为转速调节器来使用。

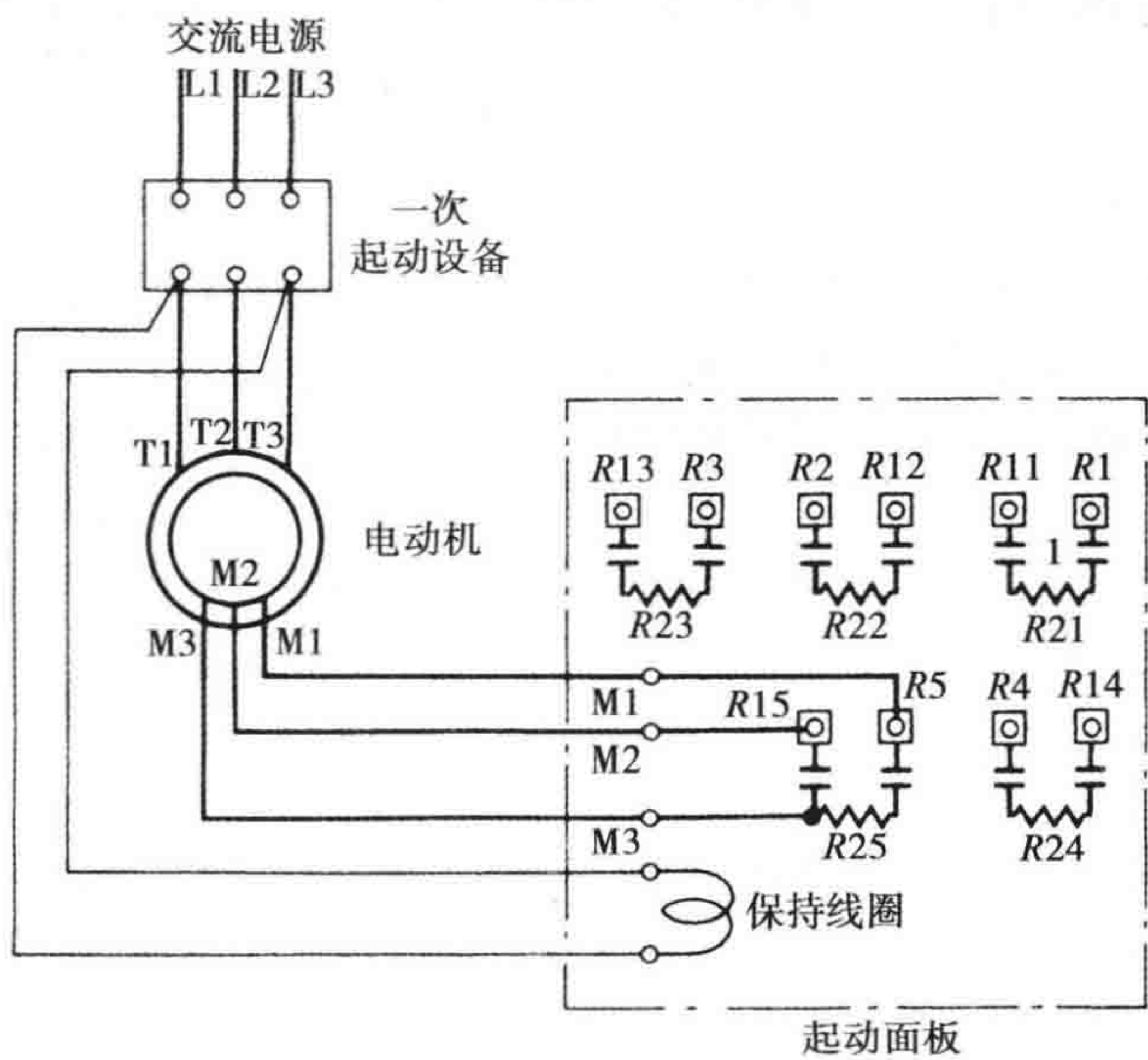


图 14-10 绕线式电动机的典型多路开关起动器

14.5.4 鼓形控制器

鼓形控制器可用于绕线式电动机的起动和转速控制（见图 14-11）。鼓形控制器既可以制定子电路又可以控制转子电路。固定接触部分的圆柱安装在两个绝缘部分上。当它们处理



转子电路时，只有定子电路由断路器或全压起动器控制。除了起动和调节外，调速鼓形控制器通常也用于速度反转控制。

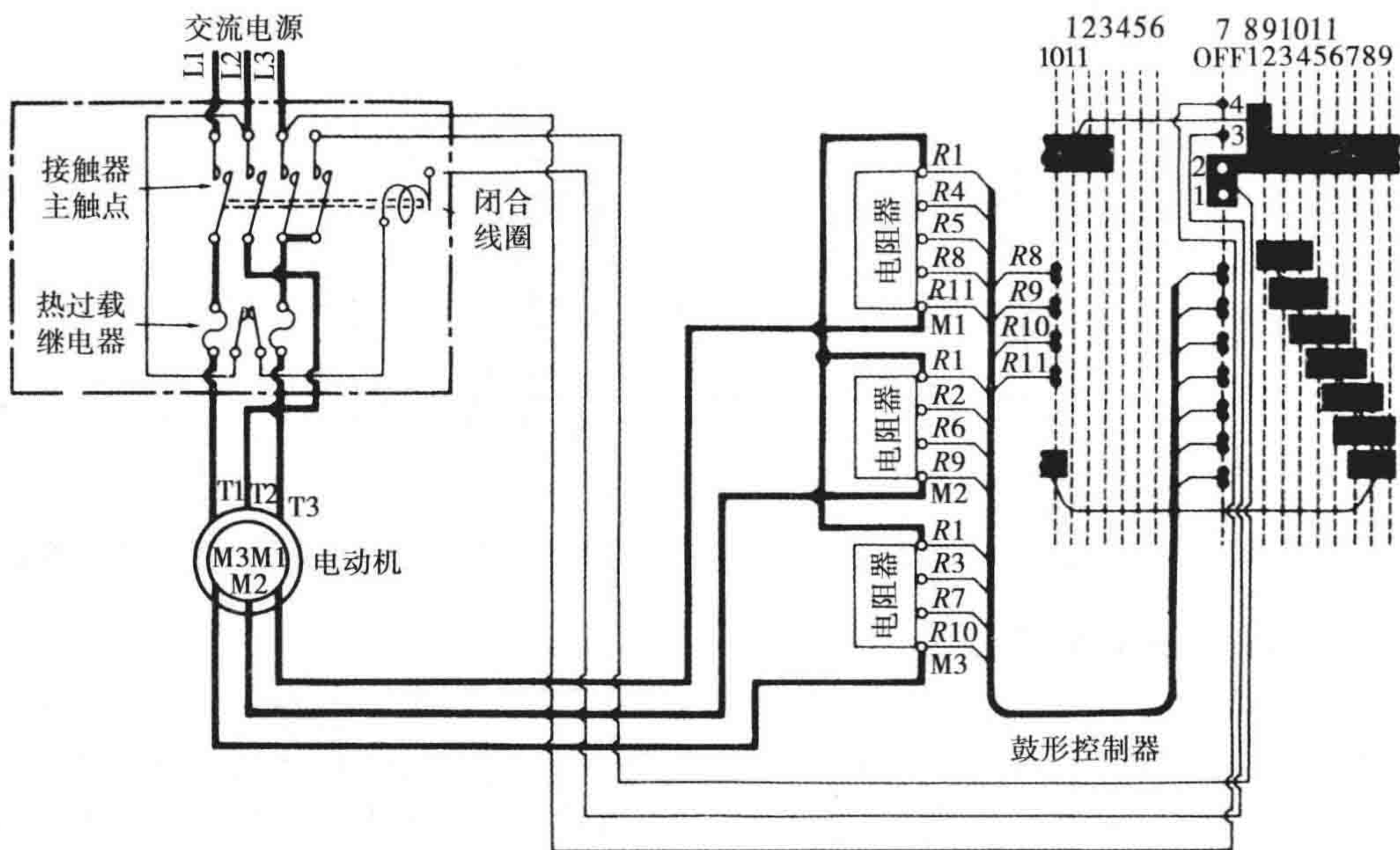


图 14-11 三相二次侧绕线式电动机的单向鼓式控制器

电动机驱动型控制器用在某些需要近似自动调速的驱动器中，如在大型空调车间、鼓风机、给煤机以及类似的应用。一些装置已使用了许多年，正在逐步被更现代的电动机控制方式所取代。

14.5.5 电磁起动器

电磁起动器可以用于调节电动机转速、起动电动机以及设置电动机的转速。它们包括一个将定子电路连接到电源线路上的电磁接触器，以及一个或多个在转子电路中转换电阻的加速接触器。转子加速接触器的数量随额定功率而变化，所用的数量应确保平稳加速并保持冲击电流处于限定范围内。加速接触器由一个定时装置控制，这个装置可提供精确的加速时间。对于高电压等级，主接触器通常是油浸式的。一个典型的用在绕线式感应电动机中的电磁起动器如图 14-12 所示。

14.5.6 电阻器

通常，绕线式感应电动机的二次侧电阻器被设计为星形联结。大多数手动控制器的电阻器可以与 3 个闭合的二次侧相连接或在控制器的第一点与一个断开的二次侧相连接。电磁控制器的电阻器与所有闭合的二次侧三相在第一个点连接。通过给定组数的电阻器获得的转矩随着控制器的第一个点所用的连接不同而改变。

请记住，绕线式电动机可以小电流带载起动。它们可用在那些由液体和气体建立反压的负载中，如循环泵和压缩机，也可用于电梯和起重机上。但是，它们也存在一些缺点。

它们需要一个绕线式转子，原始成本较高。此外，集电环和电刷需要经常维护，电阻器和开关装置也需要定期检查和维护。



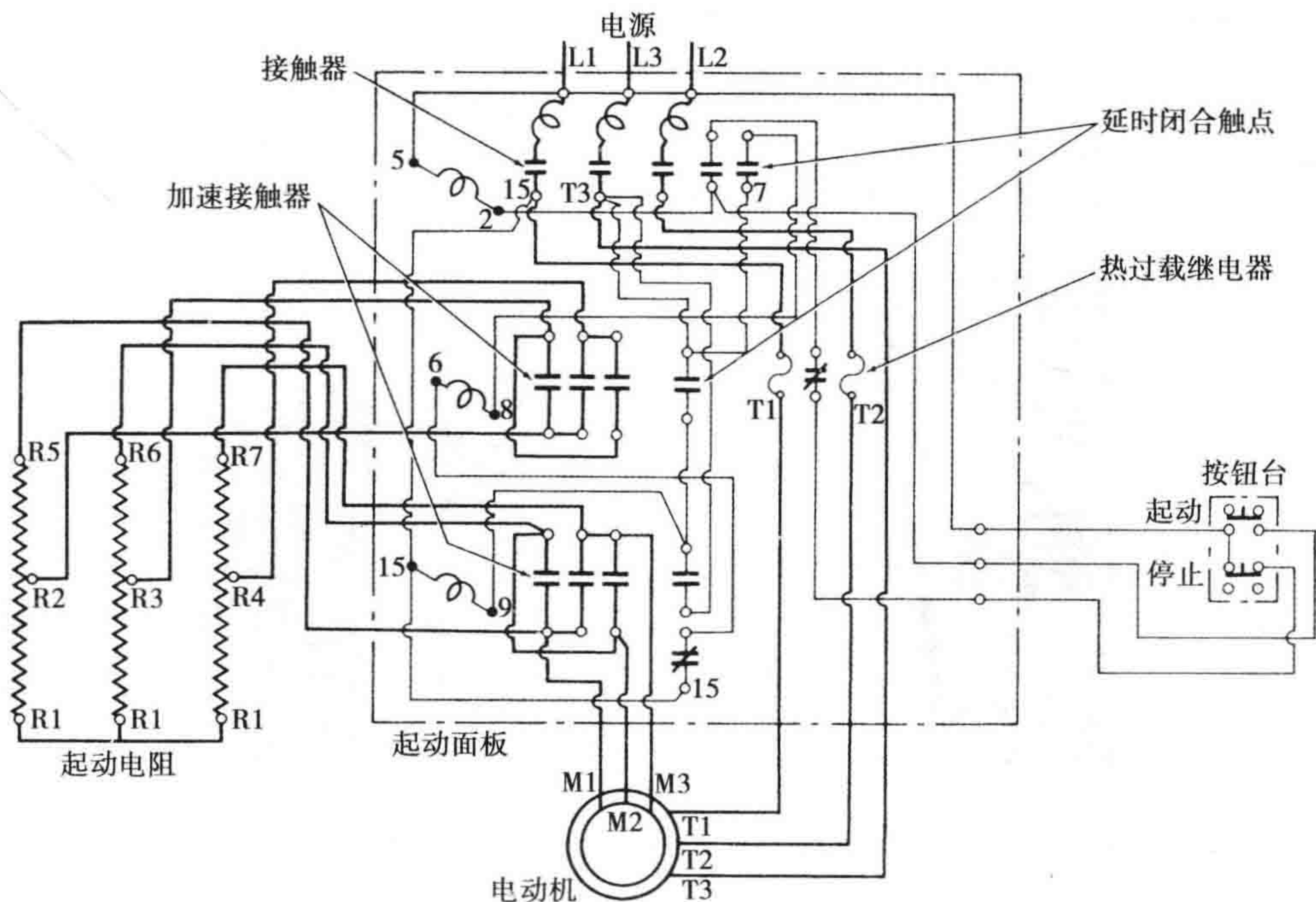


图 14-12 用在绕线式电动机中的电磁起动器接触器

### 14.5.7 固态调速控制器

固态调速控制器可以产生平滑的起动，并且节约能源。在大多数情况下它们免维护，并且容易操作，易于培训新的操作人员。

之所以使用固态调速控制器，是因它们为交流绕线式电动机提供了无级、平滑的转速控制。这意味着不再需要电阻器、液体变阻器和电抗器以及电磁离合器了。它们都消耗能量，而固态控制器的能耗则很小。固态电路可为转子提供励磁，通过控制转子电流可以控制电动机的转速及其转矩。

## 14.6 变频调速

固态交流电动机的控制可通过改变电源的频率来实现。图 14-13 所示的控制器是一种可调速的交流驱动包，三相 60Hz 电源，在 230V 工况下功率为 1~5hp，在 460V 工况下功率为 3~250hp。

通过控制相关单元的输出电压和频率达到对电动机进行调速的目的。首先将外加的输入交流电压整流为直流电压,该直流电压再由一个三相逆变器变为可调频率的交流输出,其电压的变化与频率成比例,可为电动机端提供每赫兹恒定电压的激励,最高可达 60Hz。超过 60Hz,电压保持为额定电压。这种方式可以在 2~120Hz 范围内获得高效低损的调速控制。

这种类型的调速相比于直流电动机确有优势，因为直流电动机在潮湿、腐蚀性或易爆环境中的确很难保养。这类控制多用于食品包装厂、乳制品厂、化工厂、砂石厂、造纸厂和水泥厂。离心泵和鼓风机特别适合使用这种类型的控制，因为可以通过改变转速来控制气体或流体的流动，而不是使用节流装置如阀门、气流调节器或流体循环器来实现，这样可以大大降低能耗。



14.7 多速起动器

多速起动器是为变极或分离绕组类型的双速笼型电动机的自动控制而设计的（见图 14-14）。这些起动器可用于恒功率、恒转矩或可调转矩的三相电动机中（见图 14-15）。多速电动机起动器通常用于机床、风机、装饰器、制冷压缩机和许多其他类型的设备中。

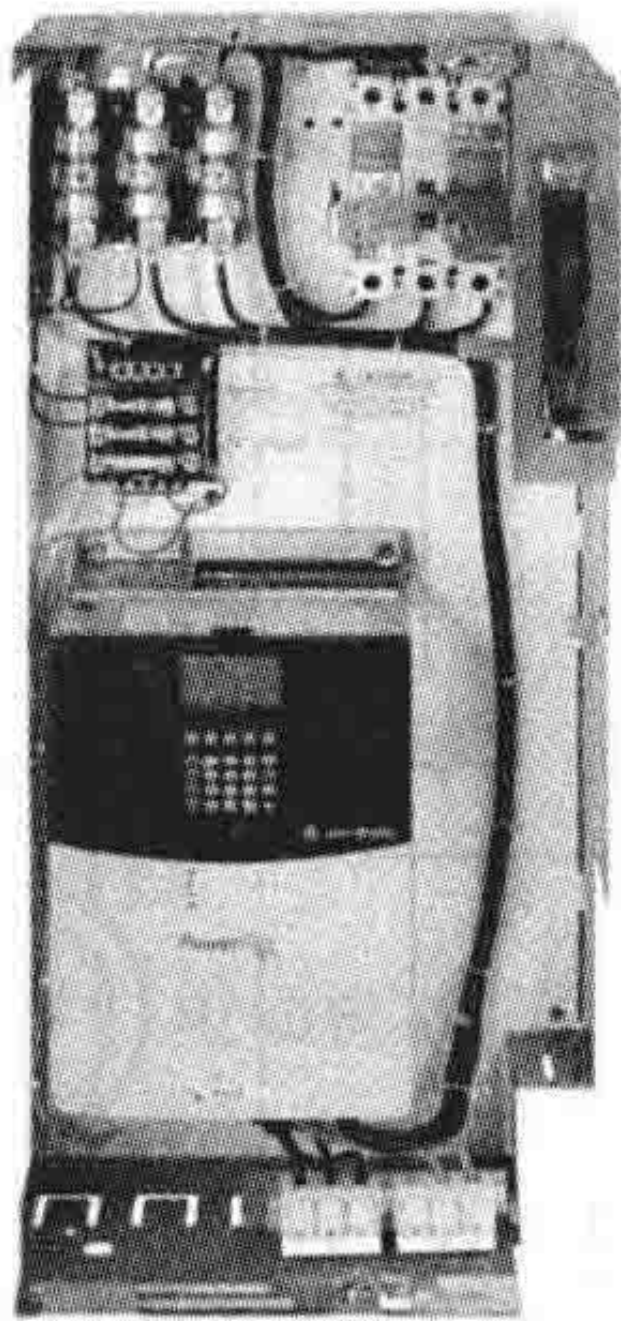


图 14-13 固态交流电动机控制  
(Allen-Bradley 产品)

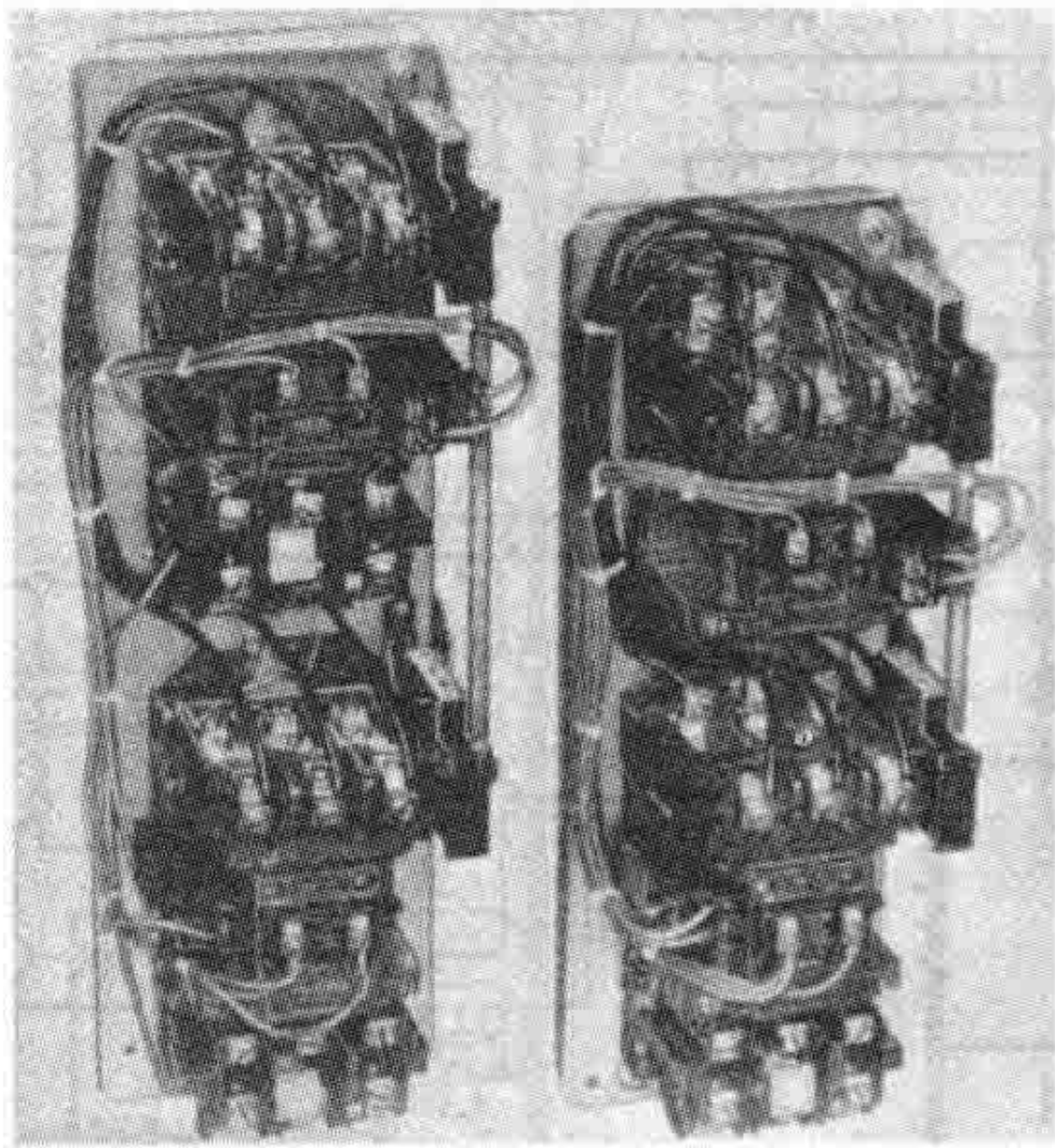


图 14-14 敞开式双速分离绕组式多速起  
动器 (Square D 产品)

14.8 转速监测

转速感应开关可以对传送带进行顺序操作，即在第二个传送带起动之前，应保证第一个传送带接近全速运行。该开关也可通过感知驱动轴的旋转，来指示传送带上物品的移动方向。

电子转速开关是一种坚固耐用、独立的轴速度检测器（见图 14-16）。如果轴的转速超过或低于一个可调的预设值时，转速开关检测到转速变化，就会起动外部继电器、音频报警设备或警示灯。

输出功率由双向可控硅固态开关进行切换。这种开关有底座安装型或法兰安装型。表 14-1 显示了转速开关可调的速度范围。

表 14-1 转速范围<sup>①</sup>

表盘刻度设定	转速范围 / (r/min)	
	5~5000 (标准)	0.7~700 (选项 D)
1	5~15	0.7~2
2	15~50	2~7
3	50~100	7~20
4	150~500	20~70
5	500~1500	70~100
6	1500~5000	200~700

①转速开关的范围可通过调节旋钮进行转速限制。在所需的一般转速范围之外，特定的转速可通过转动一个可调电位器来设置。

测速发电机可以精确监测设备的运行速度。当测速发电机与闭环转速调节器连接时，它可以用来控制设备转速（见图 14-17）。



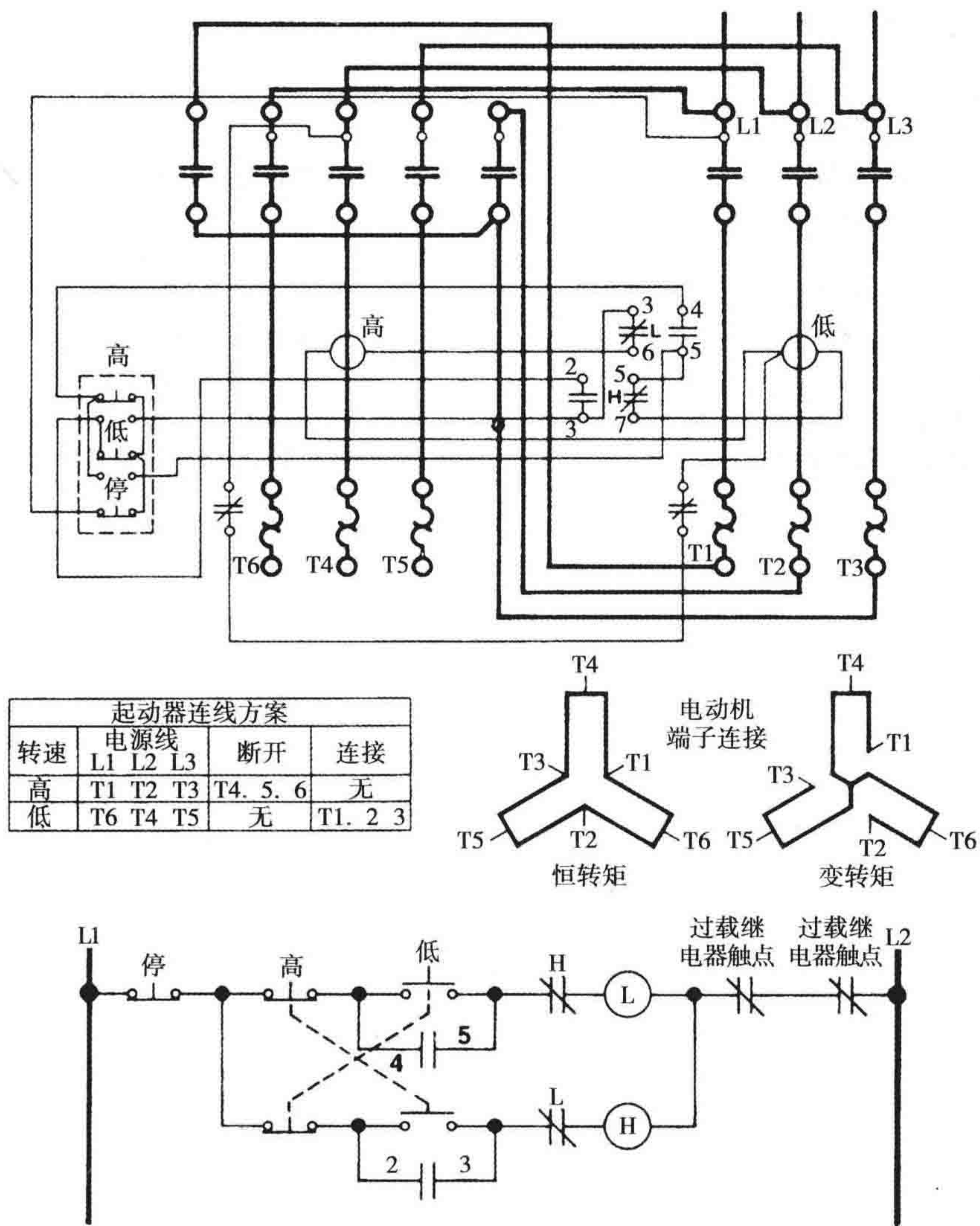


图 14-15 变极电动机恒转矩或变转矩起动原理图 (Allen-Bradley 产品)

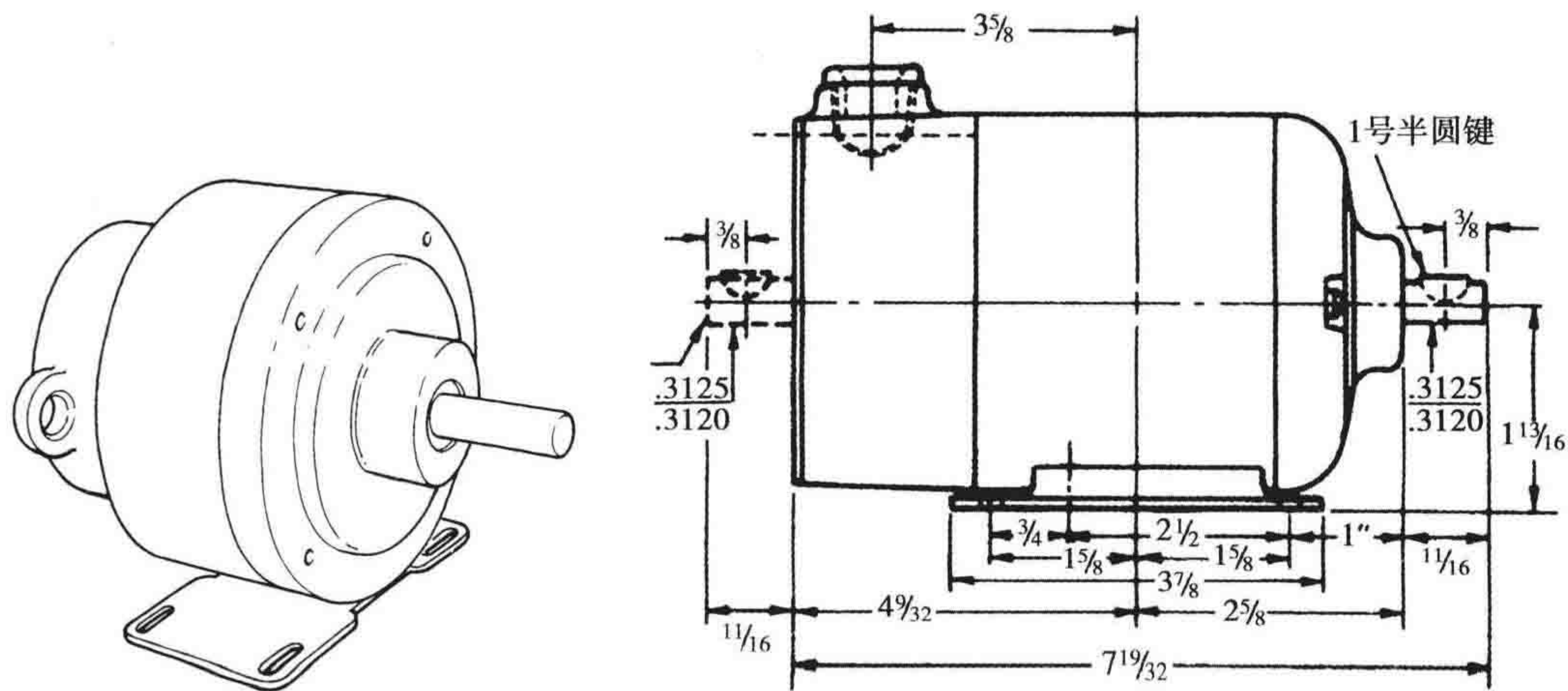


图 14-16 电子转速开关 (Reliance 产品)

图 14-17 测速发电机 (Reliance 产品)



## 14.9 思考题

1. 笼型电动机的转速如何改变?
2. 什么是励磁机? 它用在哪儿?
3. 什么是电动机的转速范围?
4. 什么是电动机的阻尼绕组?
5. 什么是起动电动机的三级开关法?
6. 同步电动机的另一种功能是什么?
7. 什么类型的电动机能产生最有效的变速输出?
8. 什么类型的电动机可用多路开关起动器?
9. 鼓形控制器用于绕线式电动机的两个目的是什么?
10. 绕线式电动机的缺点是什么?
11. 采用固态调速控制器的主要原因是什么?
12. 逆变器的用途是什么?
13. 在测量设备转速方面测速发电机的作用是什么?
14. 定义同步电动机。
15. 同步电动机的励磁是如何获得的?
16. 同步电动机的转速取决于什么?
17. 什么时候使用四速电动机?
18. 同步电动机如何自起动?
19. 阻尼绕组的另一个名称是什么?
20. 起动补偿器的另一个名称是什么?



# 第 15 章

## 电动机控制与保护

### 15.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 描述电动机手动起动的操作方法。
2. 描述电动机控制的“软起动”方法。
3. 解释如何完成电动机的顺序控制。
4. 解释如何完成电动机的自动顺序控制。
5. 描述如何完成电动机的点动控制。
6. 列出电动机反接制动的优点和缺点。
7. 定义防止反接制动的概念。
8. 描述电子电动机制动的方法。
9. 列出电子电动机制动的缺点。
10. 描述电动机机械制动的工作原理。
11. 理解推杆制动器如何使用。
12. 列出液压式制动器和电磁制动器的优点。
13. 解释导致制动抖动的原因。
14. 描述电动机过载保护的措施。
15. 列出线电压监测仪的优点。
16. 解释可编程电动机保护装置的工作原理。
17. 解释远程温度检测模块的工作原理。

### 15.2 电动机控制

控制电动机有时简单有时复杂，这主要取决于被电动机所驱动设备的实际需求。电动机已成为许多设备的一部分，这就要求电动机必须根据其驱动设备的需求进行控制。然而，电动机在使用的过程中可能会出现种种问题，这意味着，为了维持电动机在任何情况下能长时间稳定地按照预期目标来运行，就需要对电动机进行保护。请注意，在这里不是所有的电动机都是变速电动机，一些电动机是以恒定转速运行的。

电动机必须能起动、停止与反转，而且其转速必须可控。电动机也会有点动、反接制动控制功能，并且在某些情况下要求电动机能快速停转。所有这些操作都需要相关的设备和电路在不损坏电动机的条件下合理完成。

本章介绍了电动机在不同负载条件下维持正常运行状态所需要的操作和设备。



15.3 手动起动

手动起动（见图 15-1）支持全压起动，它可以提供可靠的热过载保护以及欠电压保护。典型的应用是在木工机械、金属锯床以及其他需要通过欠电压保护来满足安全标准的机床上。通过移除跳线 A，远程紧急停止操作员可接线到空白终端上。注意指示灯的这种连接方式可以确保电动机通电时，灯处于亮的状态。使用相同类型起动器的三相运行方式如图 15-2 所示，按钮的具体连接方式见图 15-3。注意，接线图和原理图虽然有区别但都包含了相同的信息。原理图展示了控制设备如何得电。图中 M 表示接触器线圈，当它得电后，其三相线路上的触点将会闭合，完成三相线路与电动机的连接。按下起动按钮，将会形成一个线圈供电的闭合电路。

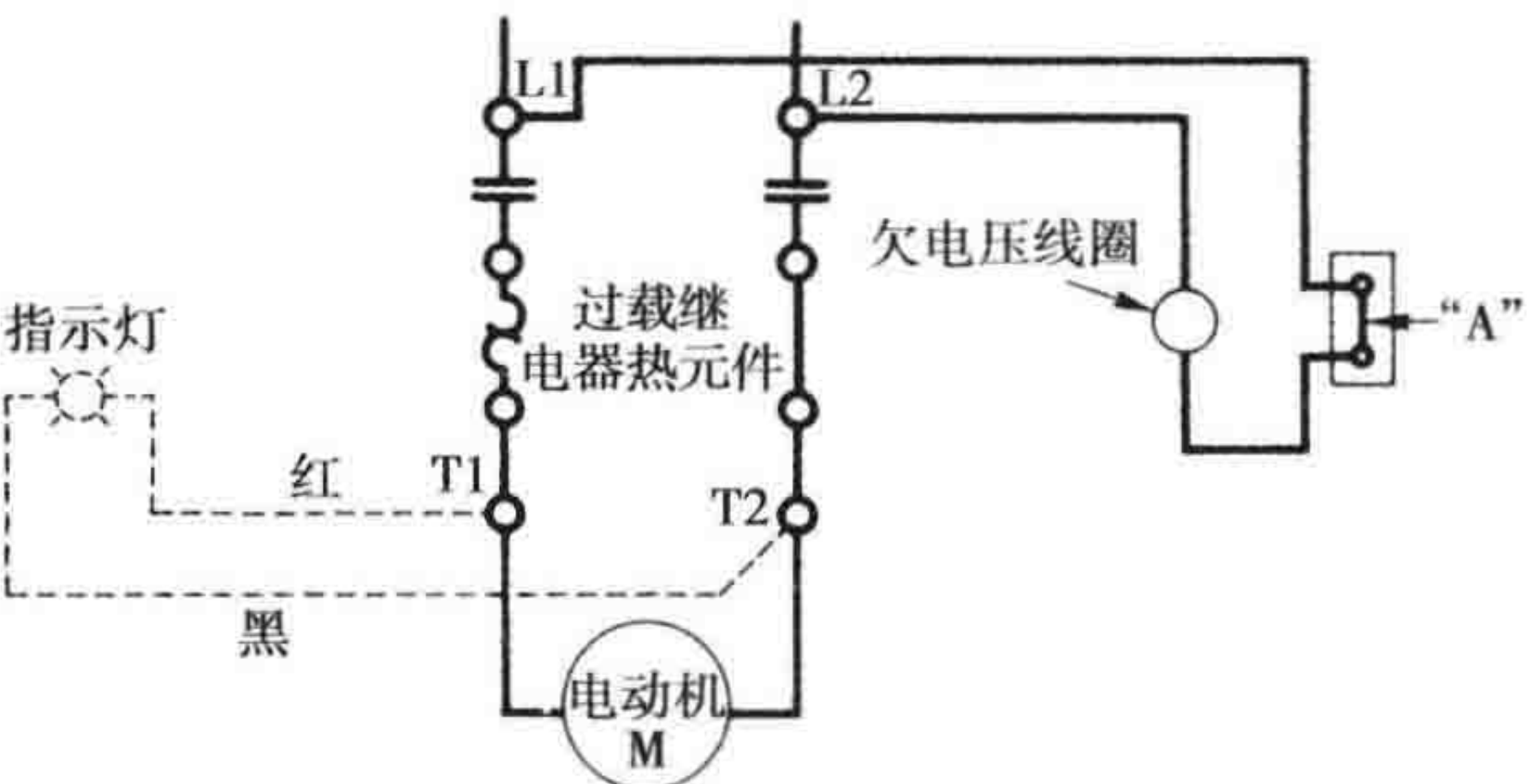


图 15-1 单相手动起动器（Allen-Bradley 产品）

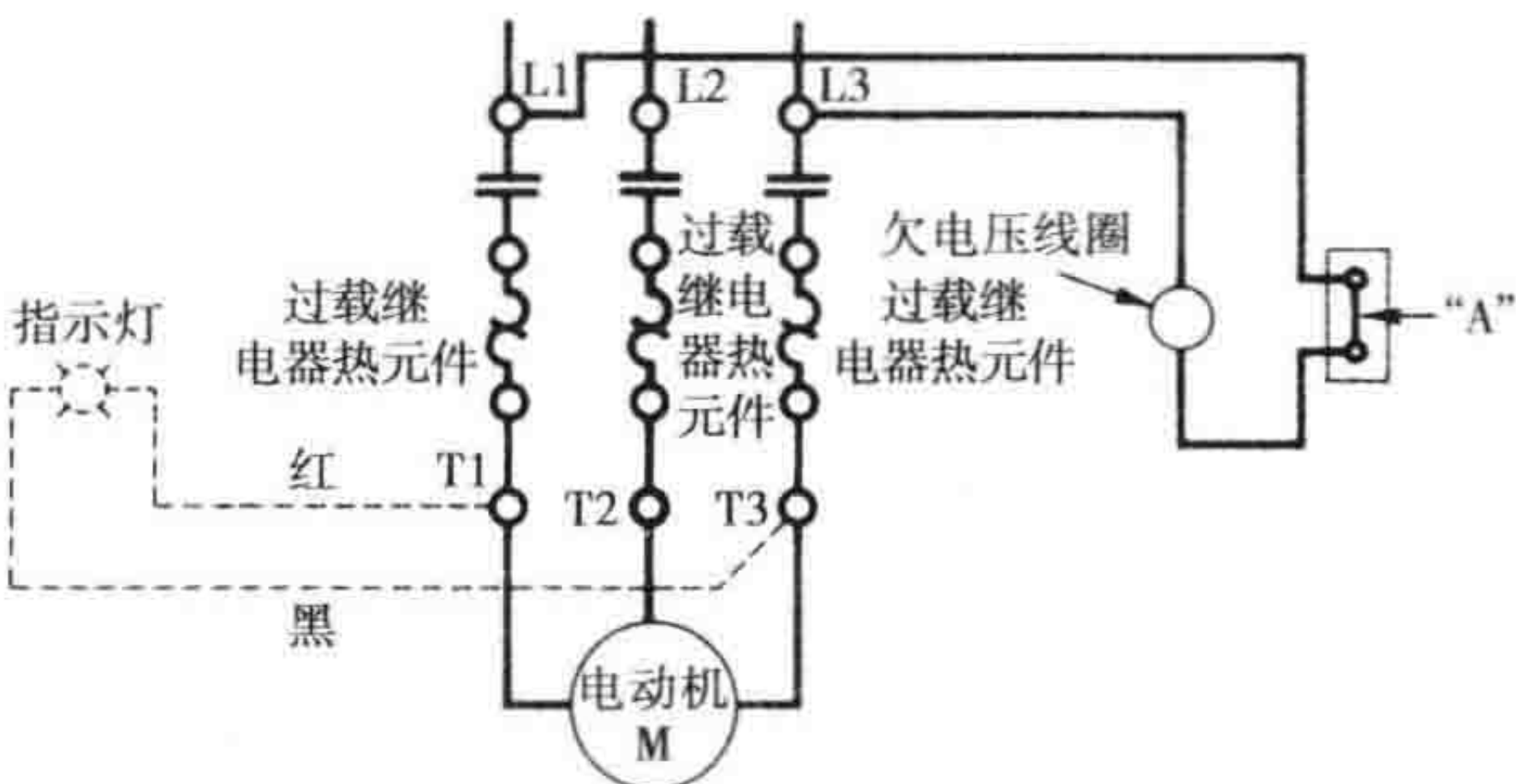


图 15-2 三相手动起动器（Allen-Bradley 产品）

图 15-4 所示的电路是基于标准起停式起动器而设计的电路，它通过三相起动器完成单相电动机的起动。图 15-5 是用于三相电动机起动的电路，它使用了多个起停控制台。原理图显示了起动按钮与起动线圈 M 触点的并联接线方案，该方案对于电动机的远程异地起停控制非常有用。通过此特定电路，可以只使用一个起停控制台，并在不同位置安装几个停止按钮，从而实现紧急停机。

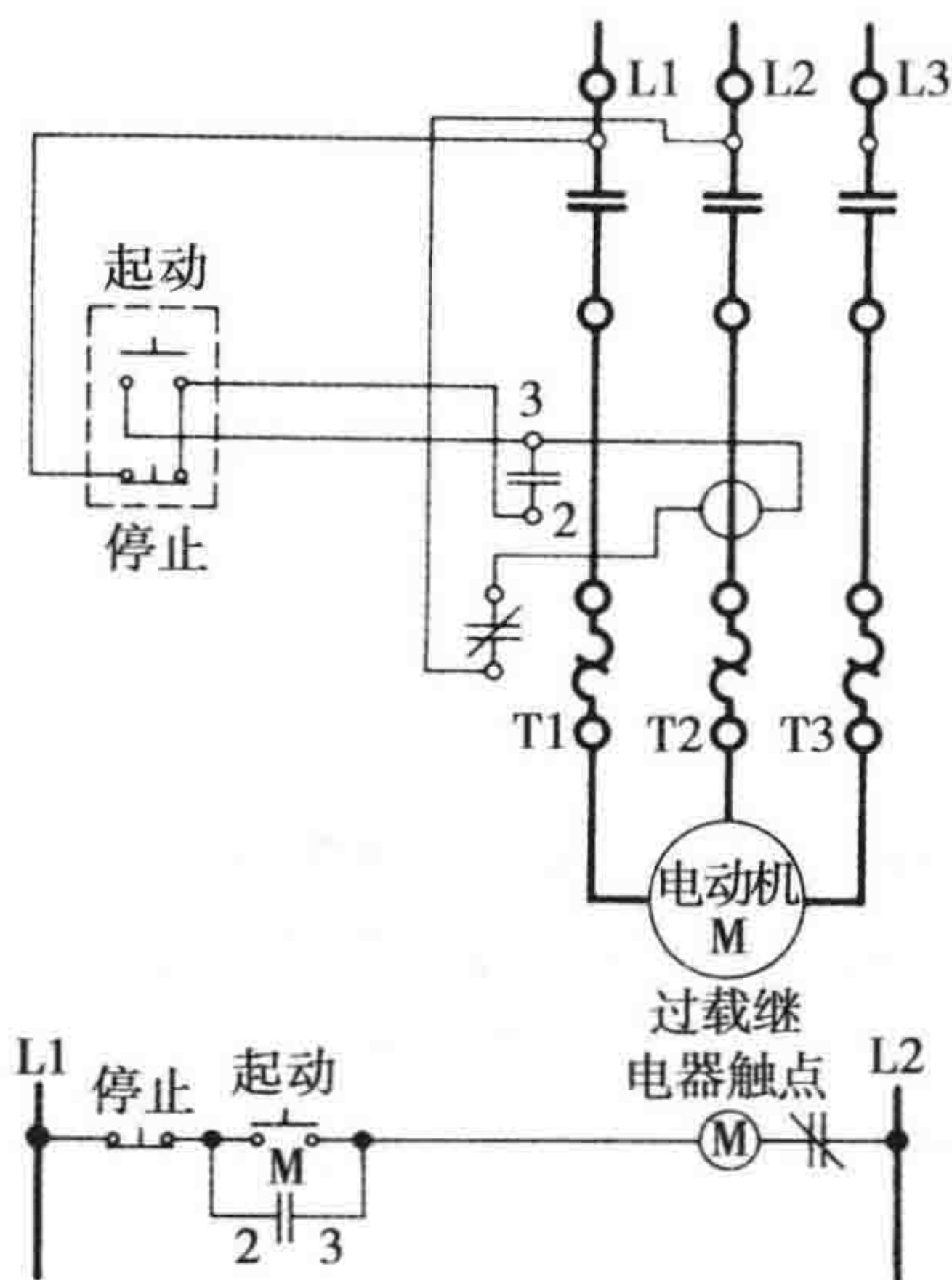


图 15-3 三相起动器（Allen-Bradley 产品）

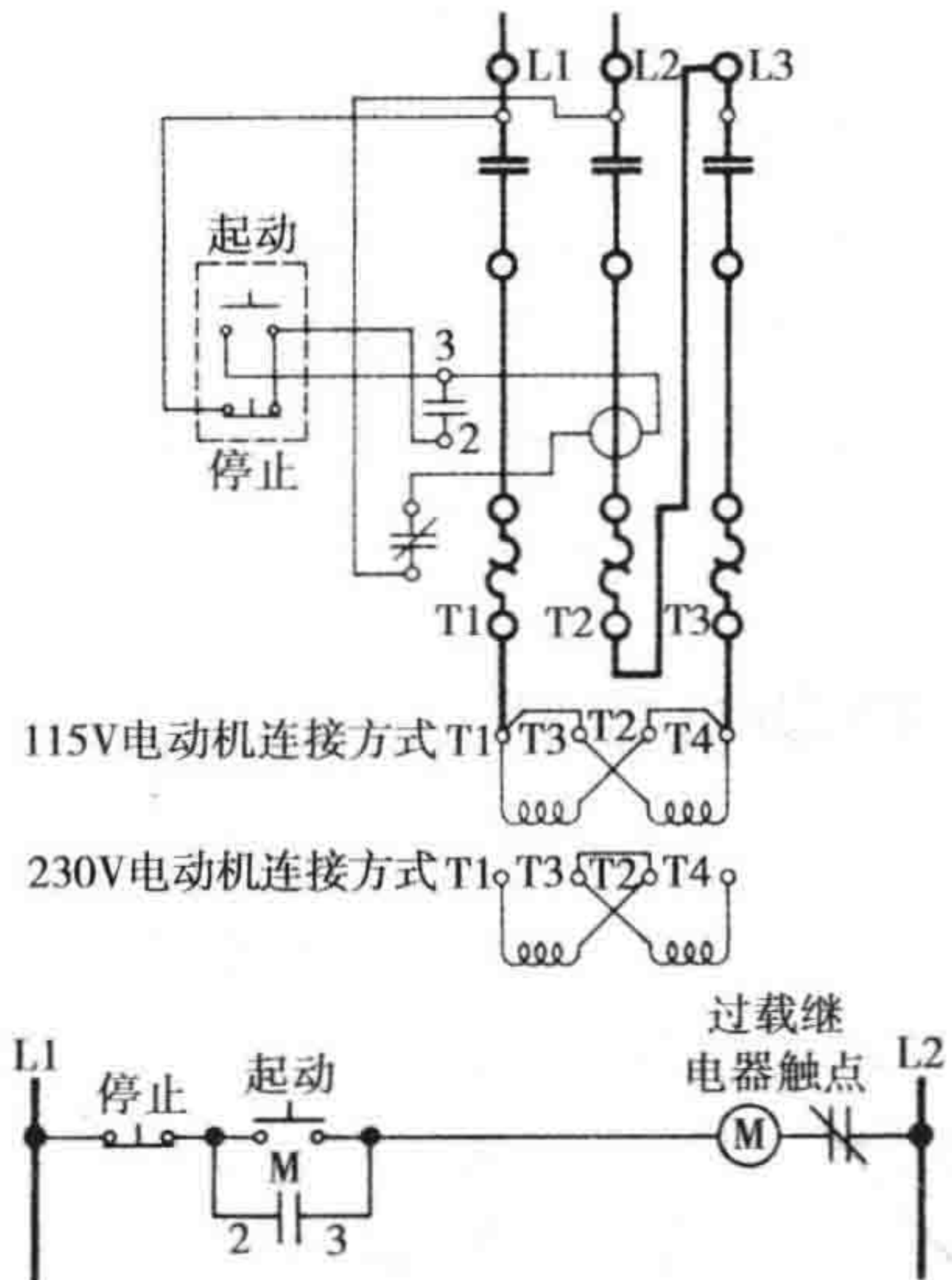


图 15-4 采用标准三相起动器的单相电动机（Allen-Bradley 产品）

标准起停控制台采用图 15-5 所示的 A 型连接方式。这种连接方式只有在一个起停控制台中才会使用，否则需要去掉 A。



低压保护是指一台设备失电后，在电压恢复正常、设备自动重新启动过程中保护操作人员免受伤害的一种方法，这通常通过三线控制的电磁起动器来完成。这种保护包括标准的手动起动器（见图 15-6）。通过安装在过载继电器中的连续工作的螺线管可以检测低电压。当电源发生故障或线电压消失时，螺线管失电，机械设备打开起动触点。当电源恢复时，起动器必须先手动复位，然后通过触点闭合从而恢复至正常运行状态。

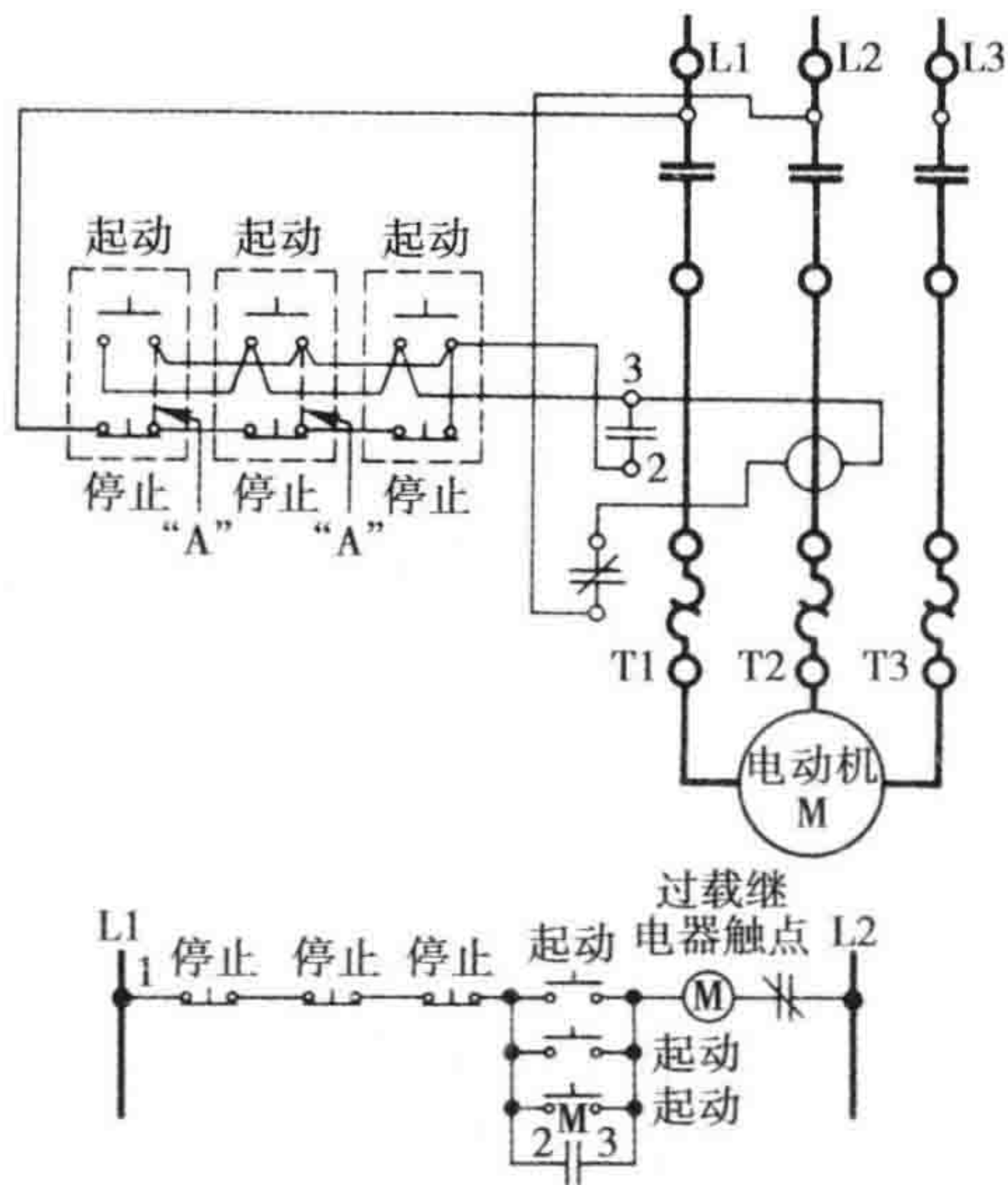


图 15-5 起停控制台的异地控制电路（Allen-Bradley 产品）

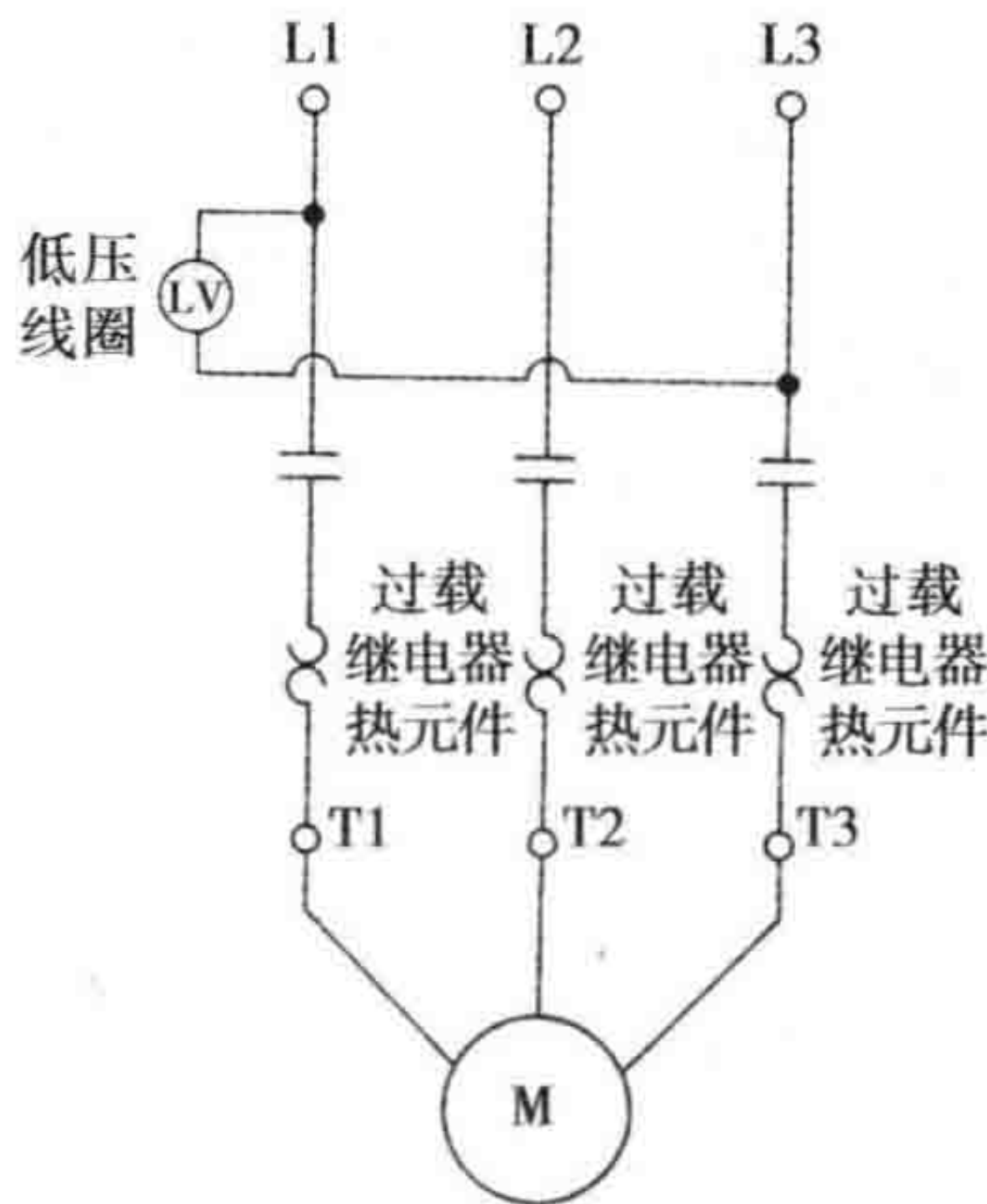


图 15-6 带低压线圈的手动起动器接线图（Square D 产品）

木工机床以及所有的机械压力机都需要用 OSHA 1910.213b3 和 1910.217b8iii 型号的低电压保护设备。某些特定的金属加工机器需要用 NFPA 79 Section 130-21 型号的低电压保护设备。一些地方的安全法规把低电压保护的使用扩展到了其他应用，如搅拌机、传送带或操作人员的安全可能会受到威胁的场所。

15.4 固态电动机控制器

固态电动机控制器利用了固态电子在电动机控制上的优点。本书已通过一章的内容介绍了可编程序控制器的优点和应用，本章重点介绍应用在标准笼型感应电动机中较小的微机控制起动器。

Allen-Bradley 公司制造了具有软起动、限流与全压起动功能相结合的智能型电动机控制器（SMC）。对于以下 3 种模式可以使用相同的控制器：软起动、限流以及全电压（见图 15-7）。

**软起动** 该方法具有最广泛的应用。电动机的电压随电动机速度的上升而逐渐升高。上升时间可以在 2~30s 之间进行调整。通过调整设置用户可以实现所需带载范围内的最佳起动性能。

**电流限制** 当需要限制最大起动电流时使用这种起动方式。电流限制值是根据起动电流的约束进行调节的，调节范围为额定电流的 200%~450%。



图 15-7 智能型电动机控制器，微处理控制起动器（Allen-Bradley 产品）



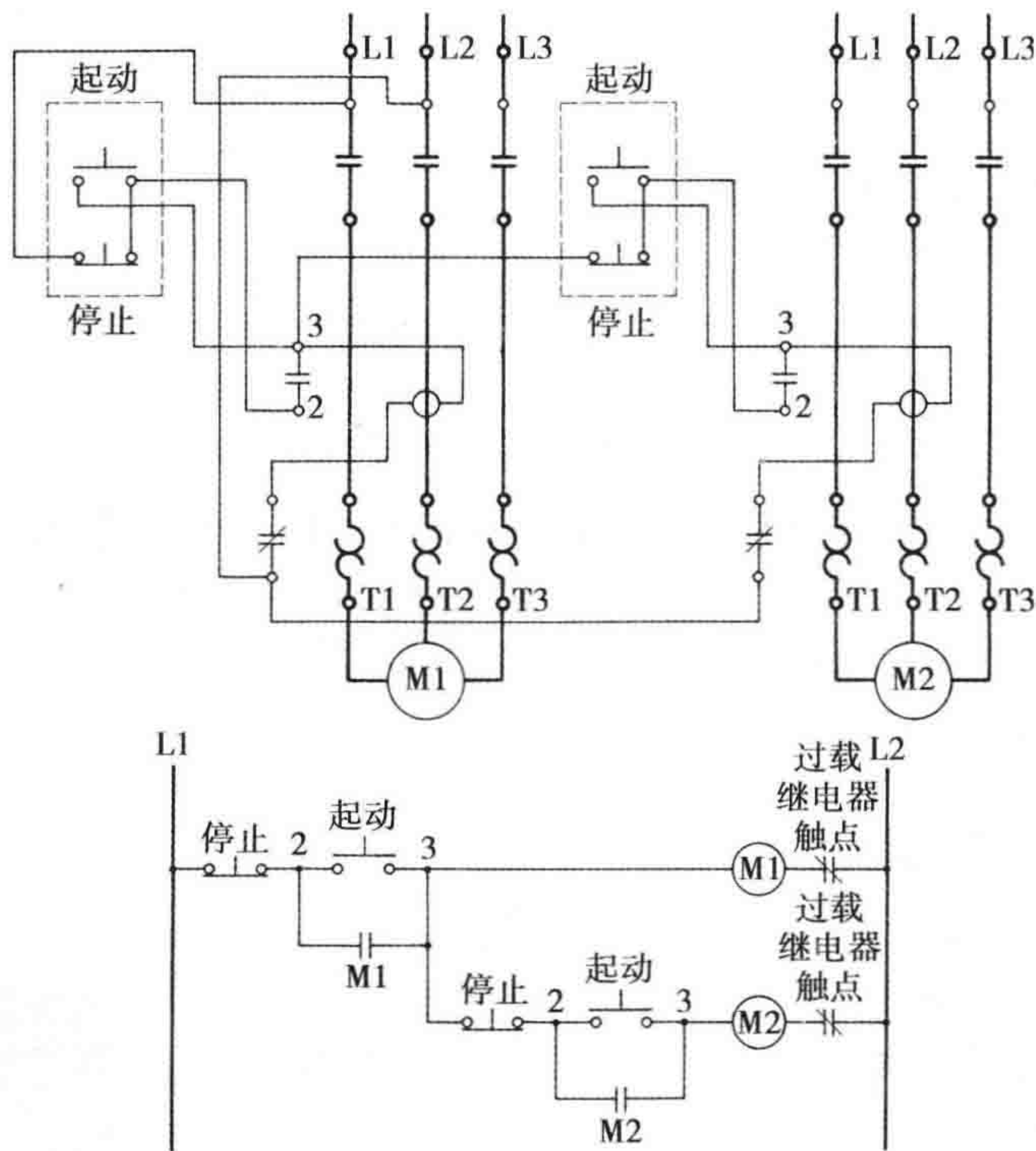
**全电压** 应用于额定起动，加速上升时间最少为 0.25s。实际上，它允许控制器直接全压起动负载。

固态电子元器件已成功地用于电动机控制的生产中。随着时间的推移，它们可能会取代机电设备。同时，随着电路结构的完善和更多的行业竞争，电子设备的造价也会持续下降，旧机器将用新的电子设备来改装。某些机器的外部已经可以和现有设备进行连接了。

15.5 顺序控制

在一些应用场合中，需要确保某一个起动器在另一个起动器通电之前不会工作。在高压润滑或液压泵等设备中应该有这种应用。

这些辅助设备需要在设备起动之前投入运行。图 15-8 显示了用于传送带系统中的顺序控制起动器。两个起动器通过线路互锁保证 M2 在 M1 运行之前不会起动，这在 M1 驱动一条被 M2 驱动的传送带时是很有必要的。如果 M1 传送带不能及时将物品运走，那么 M2 传送带上的物品就会逐渐堆积。



注意：控制电路的电源仅与 M1 电动机的电源相连

图 15-8 顺序控制接线图 (Allen-Bradley 产品)

如果涉及一系列传送带，附加起动器的控制电路可以采用同样的联锁方式。也就是说，M3 与 M2 的连接方式同 M2 与 M1 的连接方式完全相同。

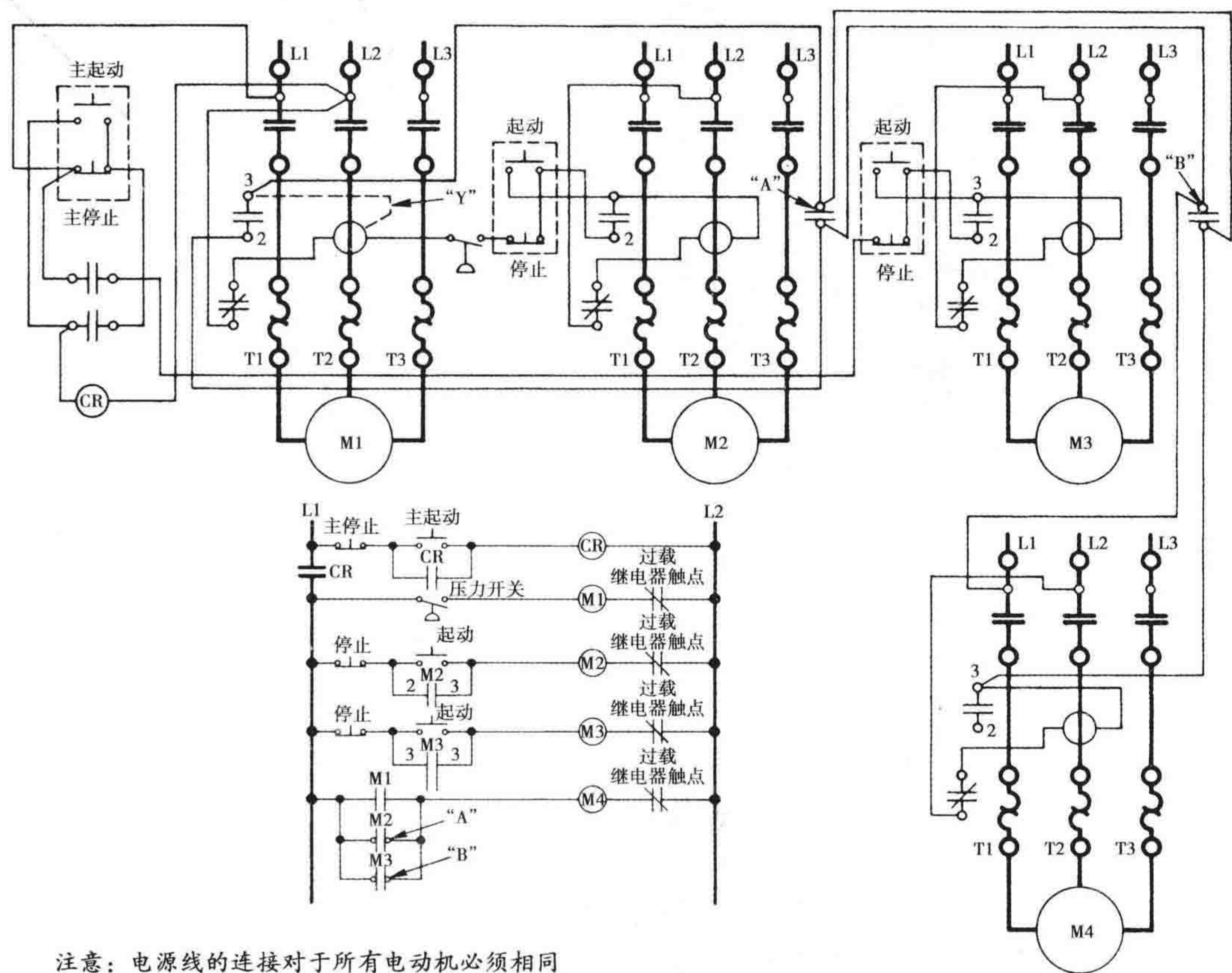
按下 M1 的停止按钮或当 M1 过载时，两条传动带都会停止运行。按下 M2 的停止按钮或 M2 过载时，只会停止 M2 传送带的运行。

15.6 起动某一电动机需要其他电动机运行

某些电动机在起动器由两线或三线指示设备驱动时可以彼此独立运行。每当这些电动机



中的任何一个运行时，水泵或风扇电动机也必须同时运行（见图 15-9）。



注意：电源线的连接对于所有电动机必须相同

图 15-9 顺序控制图（Allen-Bradley 产品）

含有控制继电器的主起停按钮控制台在紧急情况下可以停止整个系统的运行。控制继电器（CR）为 M1 提供三线控制，而 M1 则通过诸如压力开关的两线控制对设备进行控制。电动机 M2 和 M3 由起停控制台来控制。

M1、M2 与 M3 的辅助触点控制 M4。这些辅助触点并联连接，这使得它们中的任何一个都可以起动 M4。为了实现这样的控制，在一些起动器中，辅助触点添加到 M2 和 M3 中。M1 上标准的保持触点在 Y 线移除时也可以作为辅助触点。保持触点在两线控制设备中是不需要的。

当该系统运行时，所有起动器的相位连接必须是相同的。也就是说，每个起动器的 L1 必须连接到相同的相线上，L2 和 L3 的连接也类似。

自动顺序控制

图 15-10 的结构同样可以实现自动顺序控制的功能。在这个系统中，要求当 M1 电动机停止运行时，M2 电动机能自动起动，而且 M2 电动机只在设定的时间范围内运行。当 M1 电动机停止后需要立即起动 M2 电动机以驱动冷却风扇或泵时，可以采用这种控制方式。

实现这类控制需要一个延时定时器（TR）。当按下起动按钮时，M1 线圈和 TR 线圈同时得电，TR 延时触点闭合，然而，与 M2 线圈连接的电路因 TR 瞬时触点的断开仍然处于开路状态。按下停止按钮，M1 线圈和 TR 线圈失电，TR 的瞬时触点闭合，M2 起动，M2 将持续运行，直到 TR 计时结束，延时触点打开。



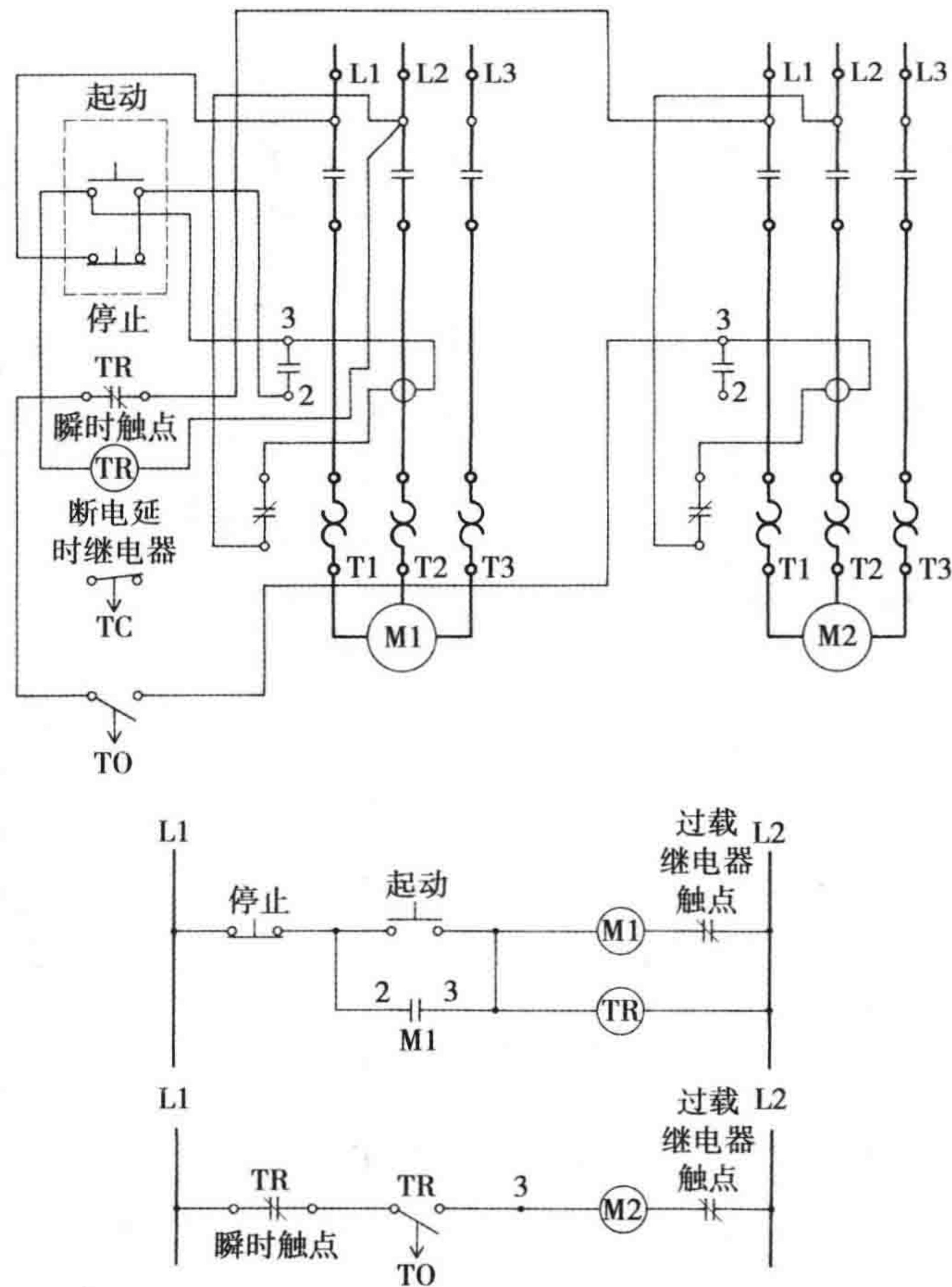


图 15-10 顺序控制图 (Allen-Bradley 产品)

15.7 点动

点动或微动是由 NEMA 定义的，为实现电动机驱动设备有微小的移动而对电动机进行的瞬时操作。点动的一种实现方法如图 15-11 所示。选择开关断开保持电路，通过按下起动按钮完成电动机的点动。

实现电动机点动有几种不同的方法。图 15-12 给出了如何使用控制继电器实现电动机点动。按下起动按钮，控制继电器线圈 CR 得电，起动线圈 M 得电，其常开触点闭合，由此将起动按钮短路，形成保持电路（自锁环节）。但是，按下点动按钮时，起动线圈 M 得电，此时并未形成保持电路（自锁环节）。这样，可以通过反复按下 / 松开与起动按钮独立的点动按钮来实现点动控制。

点动也可以通过选择开关来实现。图 15-13 介绍了使用选择开关实现点动的工作原理。在正常运行状态下，选择开关可以进行正常的三线控制。在点动状态下，自锁环节退出，按动按钮可以实现电动机的点动。

正向或反向点动

按图 15-14 所示方式连线，可以实现电动机的正向点动或反向点动。该控制方案可以在电动机静止或按任意方向旋转时，维持电动机的正向或反向点动。按下正转或反转按钮时相



应的接触器线圈会得电，控制继电器线圈 CR 所在支路连通，继电器触点闭合，形成保持电路（自锁环节）。只要继电器线圈得电，正转接触器线圈 F 或反转接触器线圈 R 将持续得电。按下任意一个点动按钮，继电器线圈 CR 将失电，其控制的触点也会断开。继续按下点动按钮，电动机将按设定的方向点动。

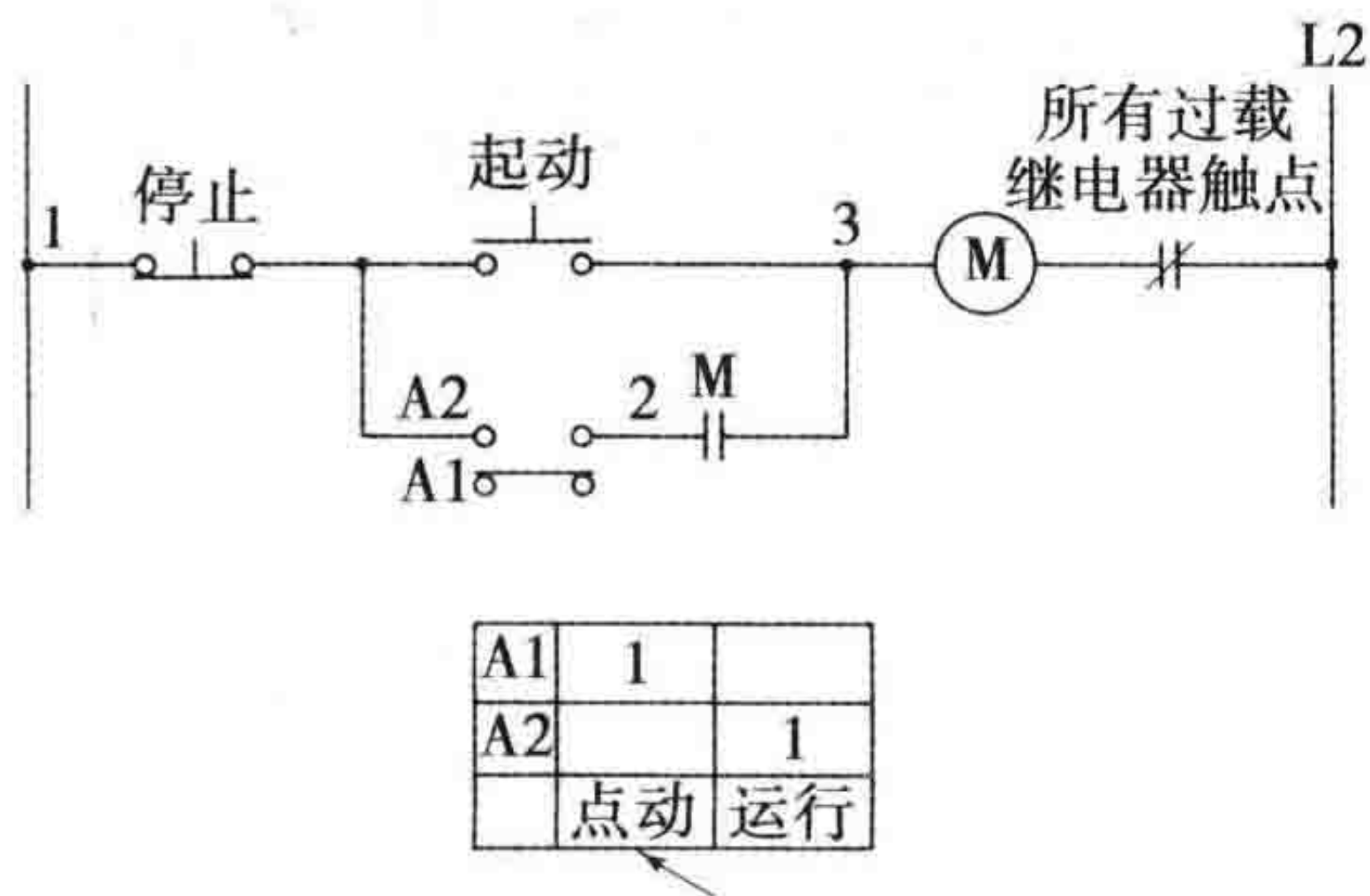


图 15-11 带选择开关的点动控制

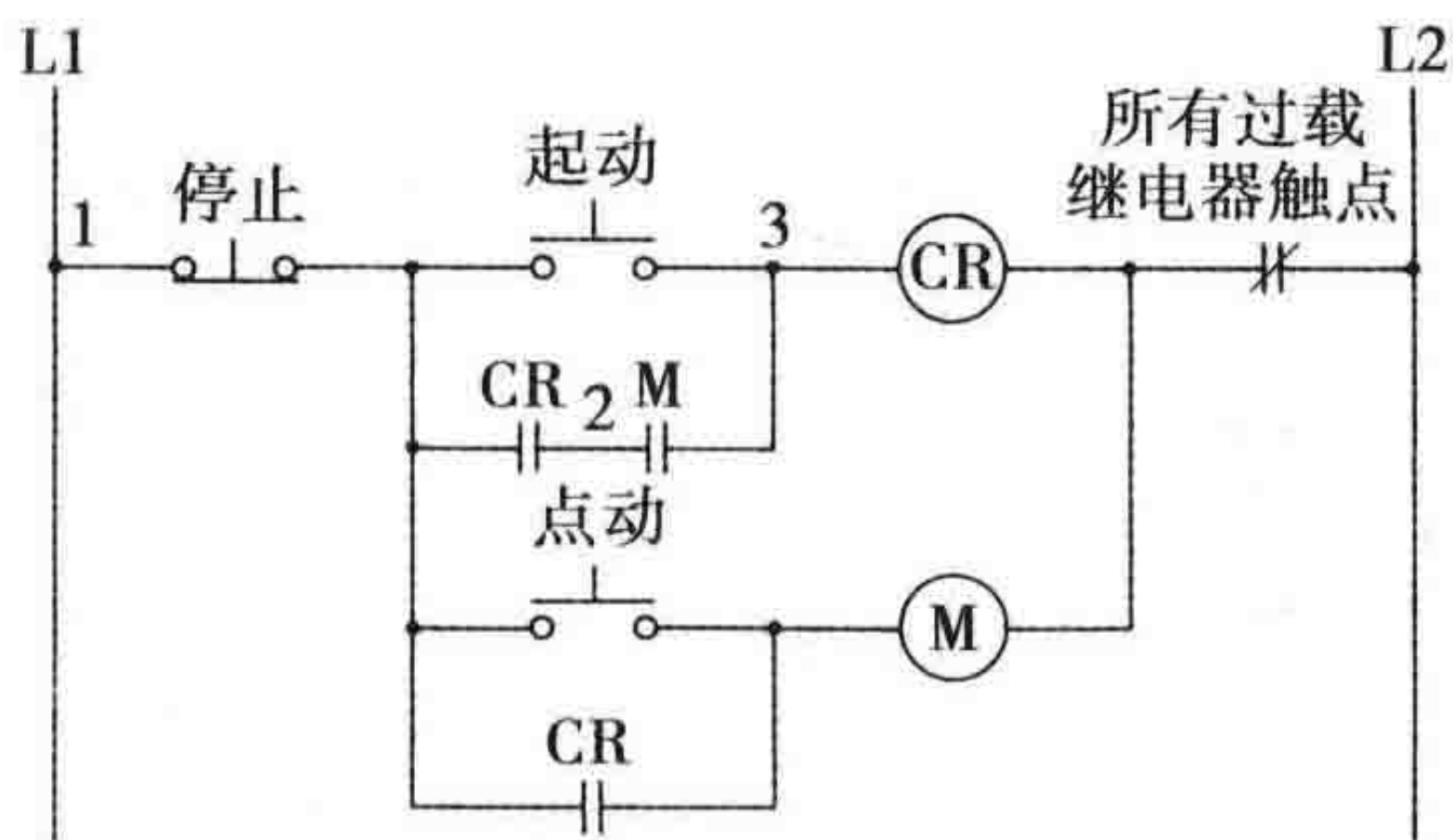


图 15-12 带控制继电器的点动控制

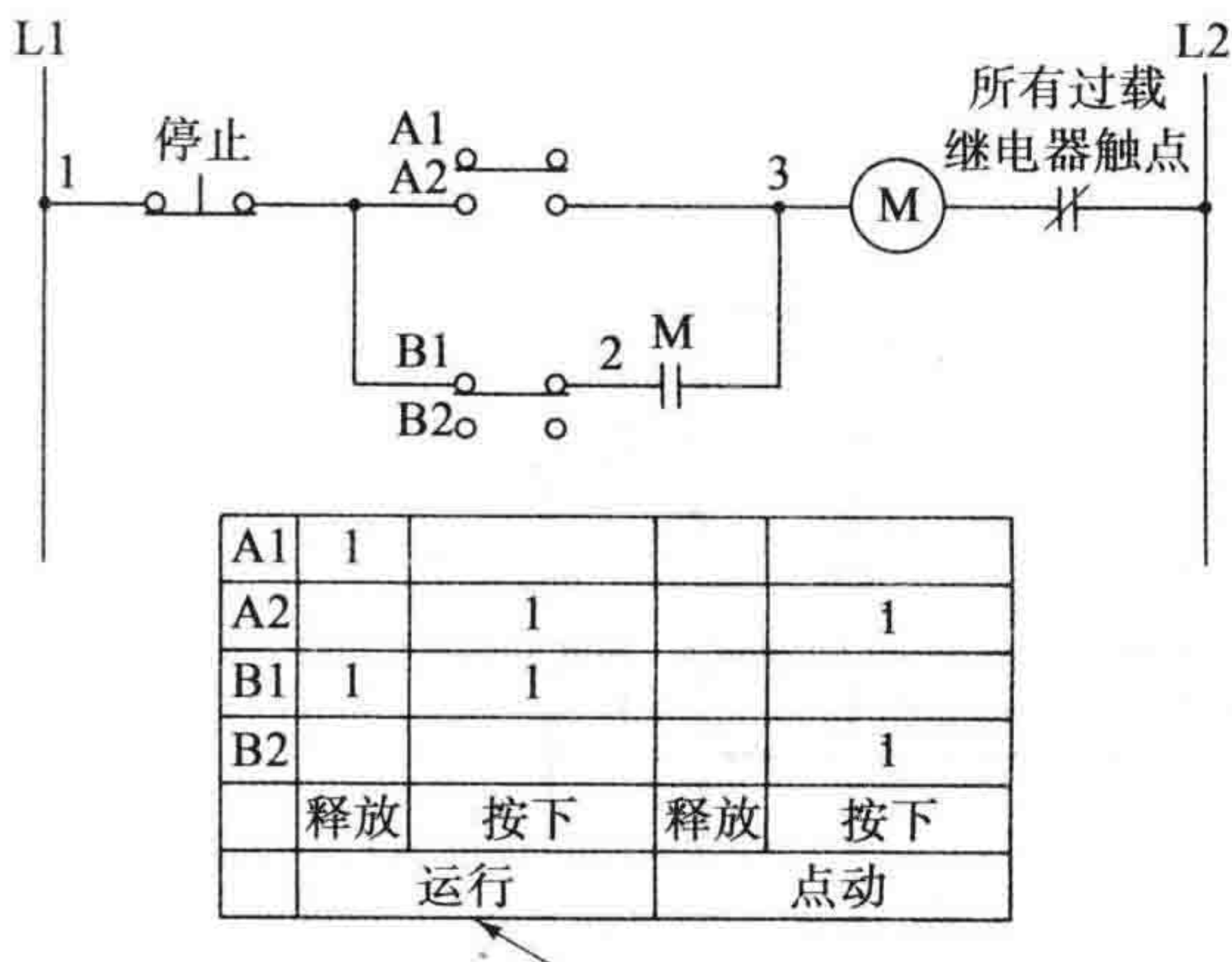


图 15-13 利用选择开关完成点动控制

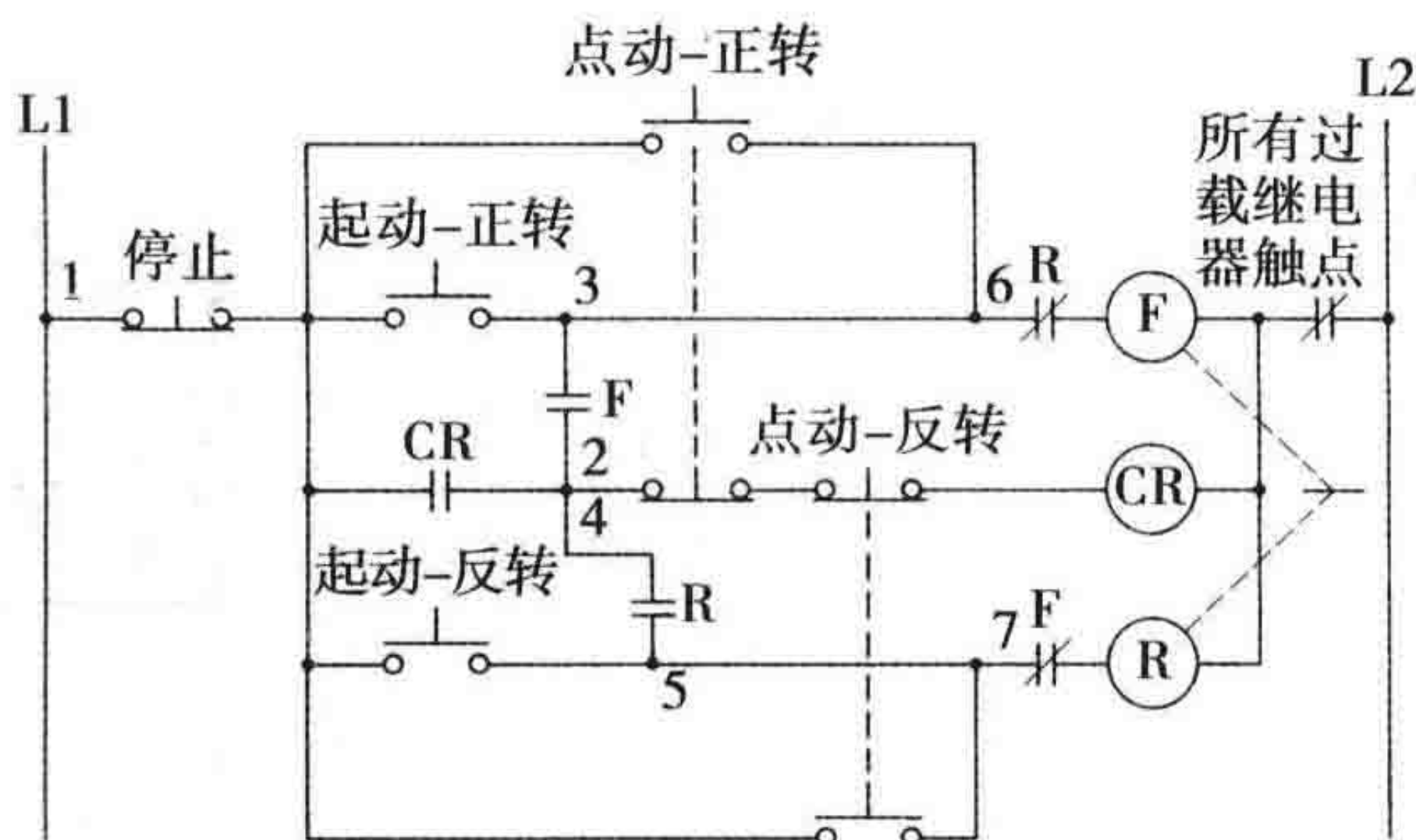


图 15-14 利用控制继电器实现双向点动

## 15.8 反接制动

反接制动是由 NEMA 定义的一种制动方法，电动机反接，保证其产生一个反方向转矩，从而产生制动力。在图 15-15 所示的系统中，电动机向一个方向转动，而当按下停止按钮后，需要电动机完全停下。为此使用有换向开关的反向接触器实现反接制动，而非使其反转。某些转速开关中还装有闭锁电磁线圈，其功能是防止电动机轴的意外反转、关闭转速开关触点和启动电动机。该保护功能是可选的，并且如果需要的话，转速开关还可以在没有任何电磁闭锁的条件下运行。

### 15.8.1 电动机任意方向的反接制动

图 15-16 显示了通过反接制动使电动机停止运行的原理。通过按动恰当的启动按钮可使电动机按照期望方向运行，按下停止按钮将会通过反接制动的方式使电动机停止。为了实现控制要求，此处使用了一个标准的换向开关。

闭锁电磁线圈内置于转速开关内，它可以防止电动机意外反转、关闭转速开关触点和启动电动机。控制继电器 CR 和按钮控制台均为标准组件。



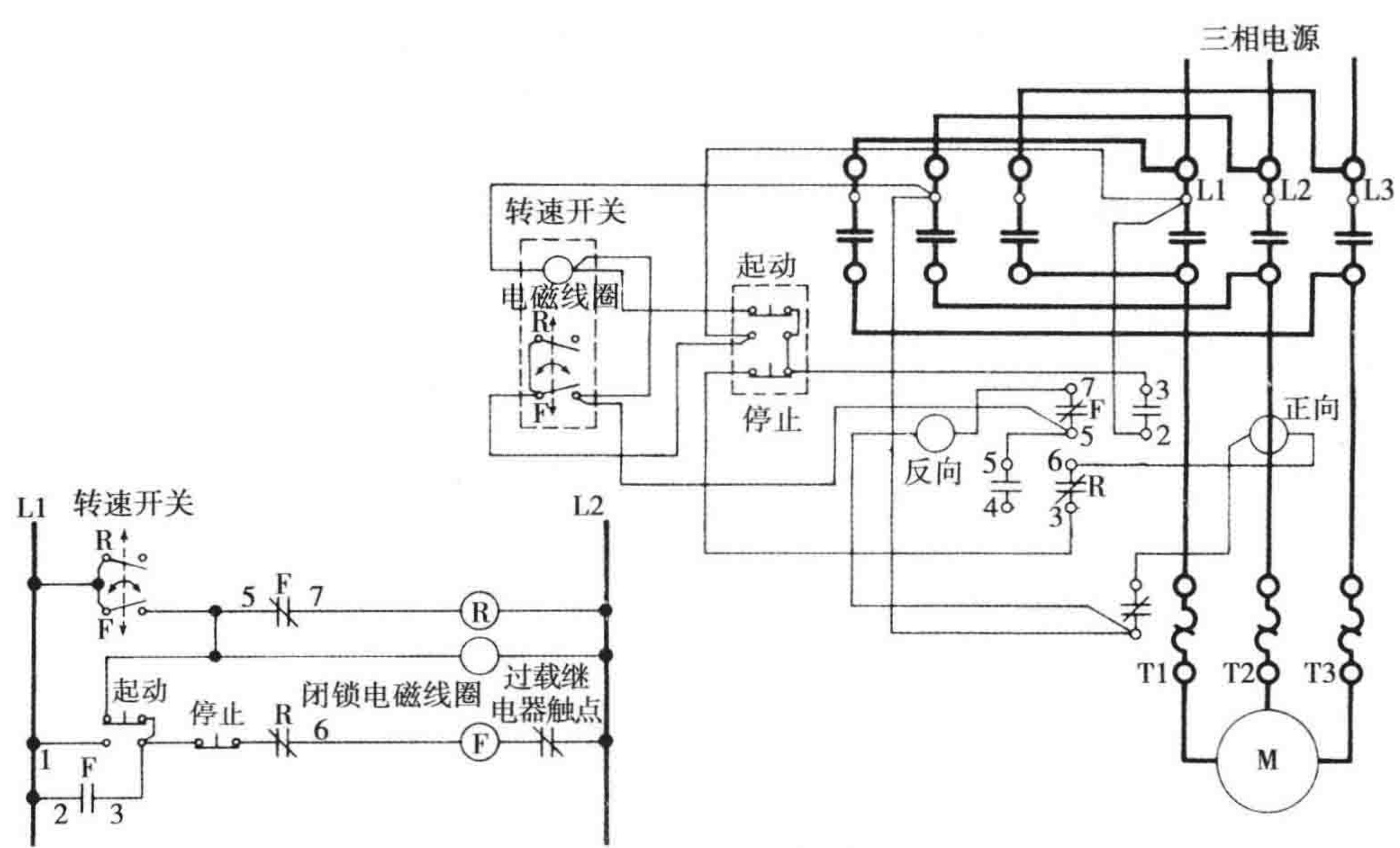


图 15-15 反接制动示意图 (Allen-Bradley 产品)

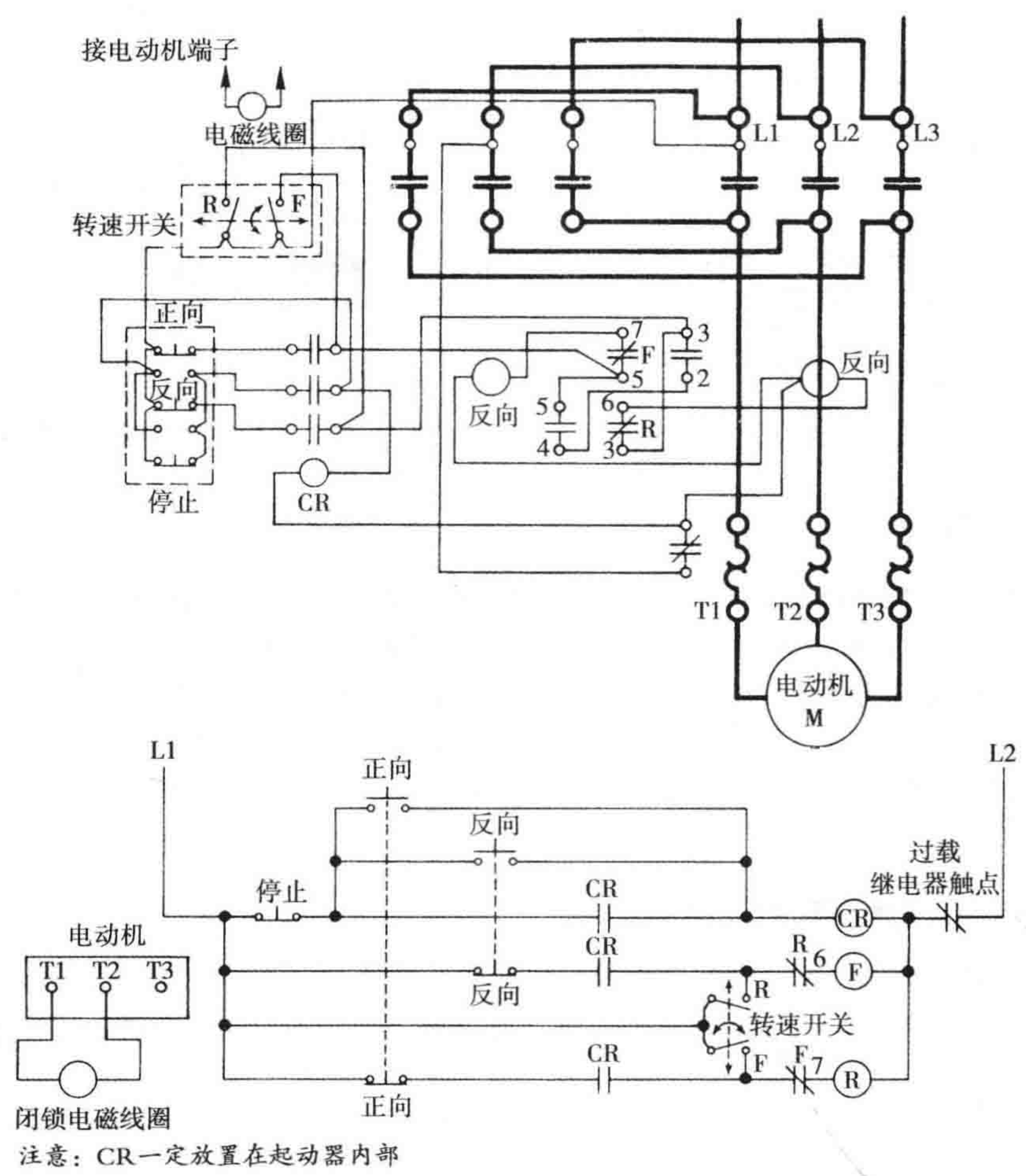


图 15-16 反接制动示意图 (Allen-Bradley 产品)



15.8.2 防止反接制动

防止反接制动是由 NEMA 定义的，遏制反转矩直到电动机转速下降到可接受范围为止的保护方式。电动机如图 15-17 所示单方向运行时，防止反接制动开关的一个触点将会断开反向运行的控制电路。该触点不会闭合，直到电动机运行速度放缓。此后，其余接触器得电。图 15-17 所示的电路图中电动机可以反转但不能反接制动。

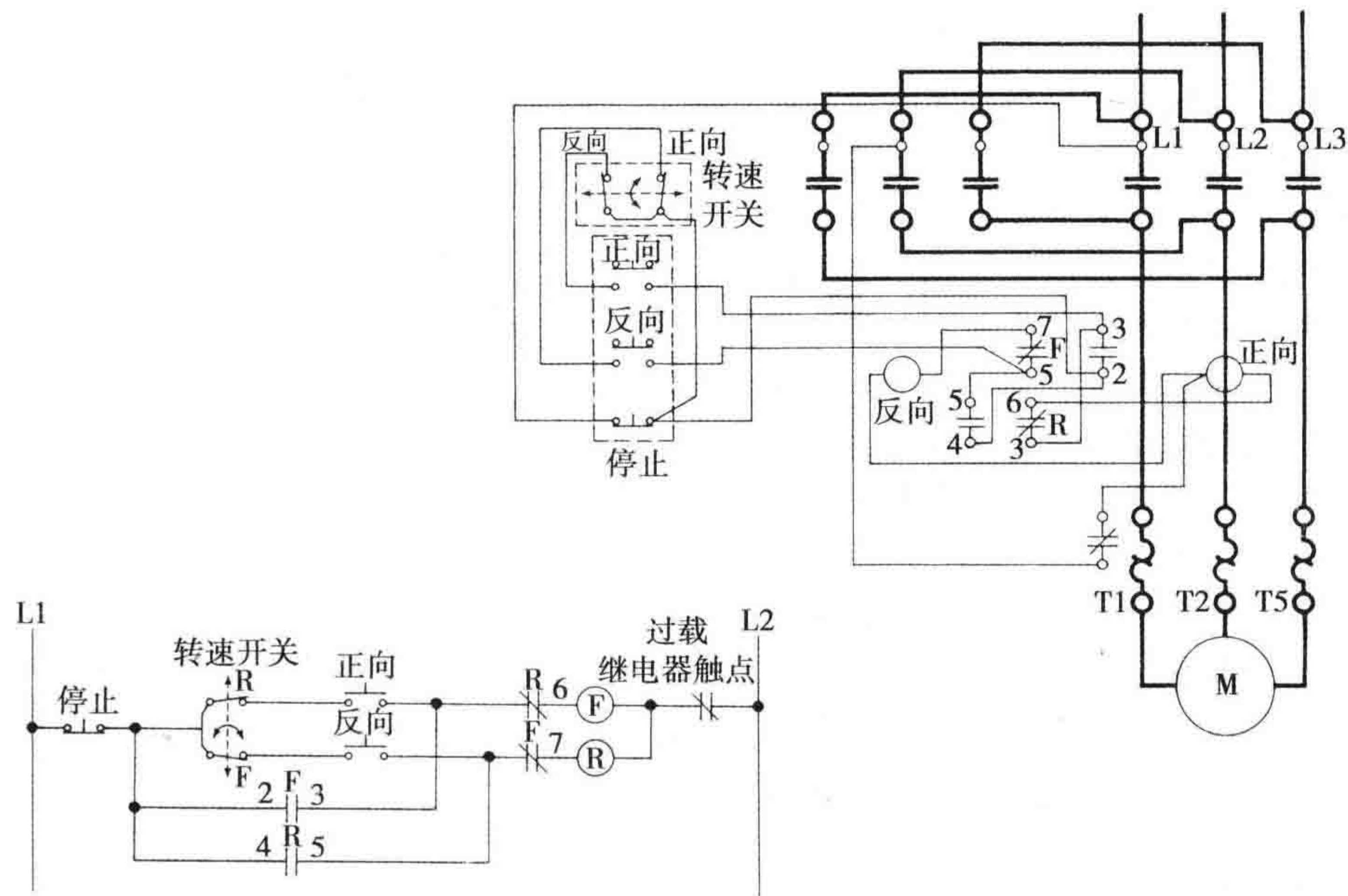


图 15-17 防止反接制动示意图（Allen-Bradley 产品）

15.9 制动

电动机可以通过电气或机械手段制动或停止运行。在某些情况下，需要两者结合进行制动。当电动机带载并且不容易停止运行或者是电动机不方便与负载断开连接时，就会经常使用联合制动。

15.9.1 电动机电子制动

由 Square D 公司制造的电动机电子制动为交流笼型电动机提供了一个简单有效的制动方法（见图 15-18）。它可用于木工机械（如锯和砂轮磨光机）、机床（如车床和钻床）以及传输系统、纺织机械和离心机中。加热设备、通风机、空调风扇和其他不同行业的许多机器也会使用此类技术。

电子制动方法与机械制动方法相比，具有的主要优点是：

- 无摩擦、无磨损、无机器维护
- 可调节的软停止功能
- 与电动机主轴没有机械连接
- 具有多电动机的制动能力
- 便于与新机器或已经存在的机器连接
- 不受恶劣的电动机工作环境所影响

电子制动就是通常所说的能耗制动。交流感应电动机的能耗制动通常是通过直流电流激励定子绕组来实现的。制动转矩

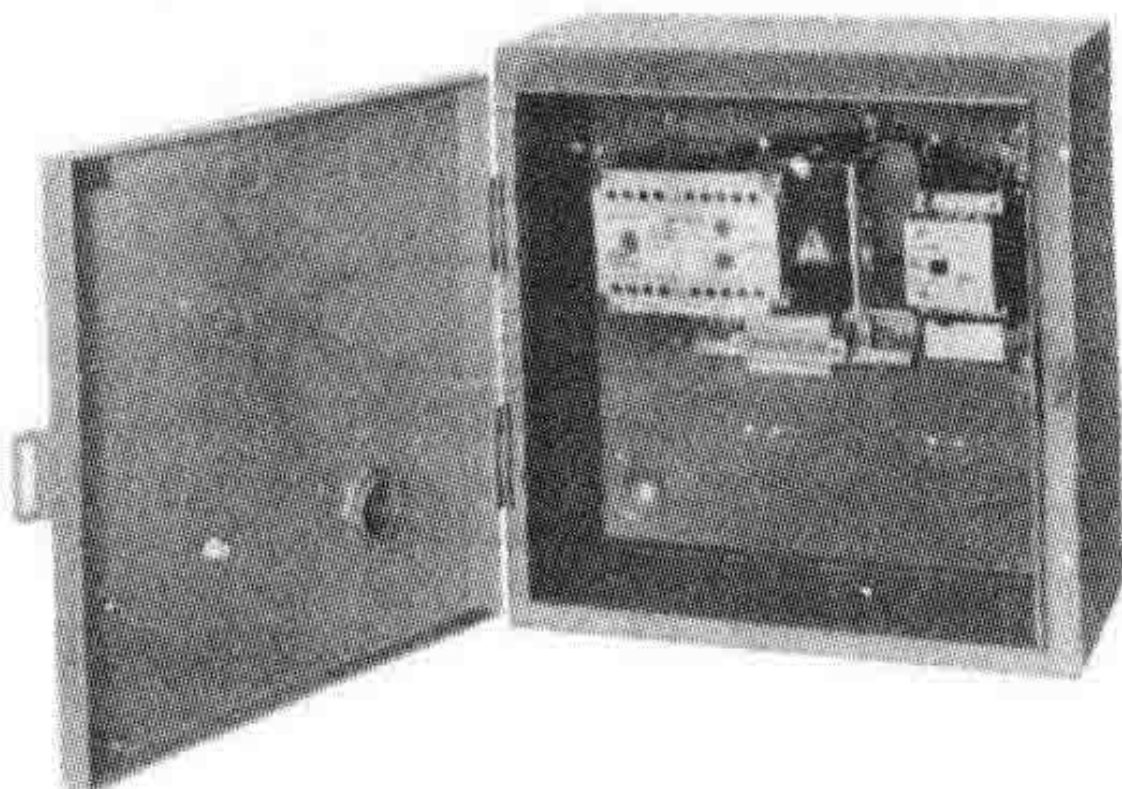


图 15-18 电动机的电子制动（Square D 产品）



的大小与流过电动机定子绕组的直流电流大小成正比（见图 15-19）。

由于反向转矩的应用，能耗制动可能会使连接到电动机轴上的螺纹紧固部件发生松动。使用强制锁定紧固件或紧固复合物能够有效防止松动。

注：当系统切断电源或脱离电源时，电动机电子制动将不再发挥作用。

这种电动机电子制动可以用来停止负载，并向机械制动系统发出信号以控制住它。此外，电动机电子制动会与电动机点动、电动机反转、变速运行或减压起动配合使用。

电动机电子制动器的设计使制动接触器触点在晶闸管（SCR）开启制动电流之前关闭，除非制动电流已经关闭，否则接触器触点不会打开。所以说，制动接触器是专为承载电流而设计，并不是为了实现更频繁的通断功能而设计的。

当外加电路检测到电动机停止运行时，切断制动电流，允许电动机再次起动。在这个过程中，无须调整制动时间，最大制动时间是工厂预定的 10s。制动力矩能够通过一个简单的电位器调节。无论是一个多变的负载还是多速三相电动机，都是一个理想的制动系统。

15.9.2 机械制动

可以采用必要的机械手段实现电动机的机械制动，这就像应用在汽车中的技术一样。其中一些方法依赖于电路激励电磁线圈以使刹车片抱紧电动机轴，从而使电动机停转。

这种制动方式对于一台额定功率为 10hp（1hp=746W）转速为 3600r/min 的电动机来说，需要机电制动设备（见图 15-20）。该设备包括手动释放杆和可实现自复位的摩擦盘。电磁线圈被封装，由此保护它们免受灰尘和湿气的影响。此外，使用防振弹簧降低了振动和噪声。

在某些情况下，由于电动机断电后能耗制动不足以使其完全停止转动，所以需要有一个机械制动器。当电动机脱离电源时，这些制动器便开始发挥作用。电动机通电时，电磁铁吸引刹车片使其远离电动机轴。一旦断电，制动设备将自动被弹簧的运动所牵引（见图 15-21）。这种类型的制动在电梯和类似装置中非常有用。

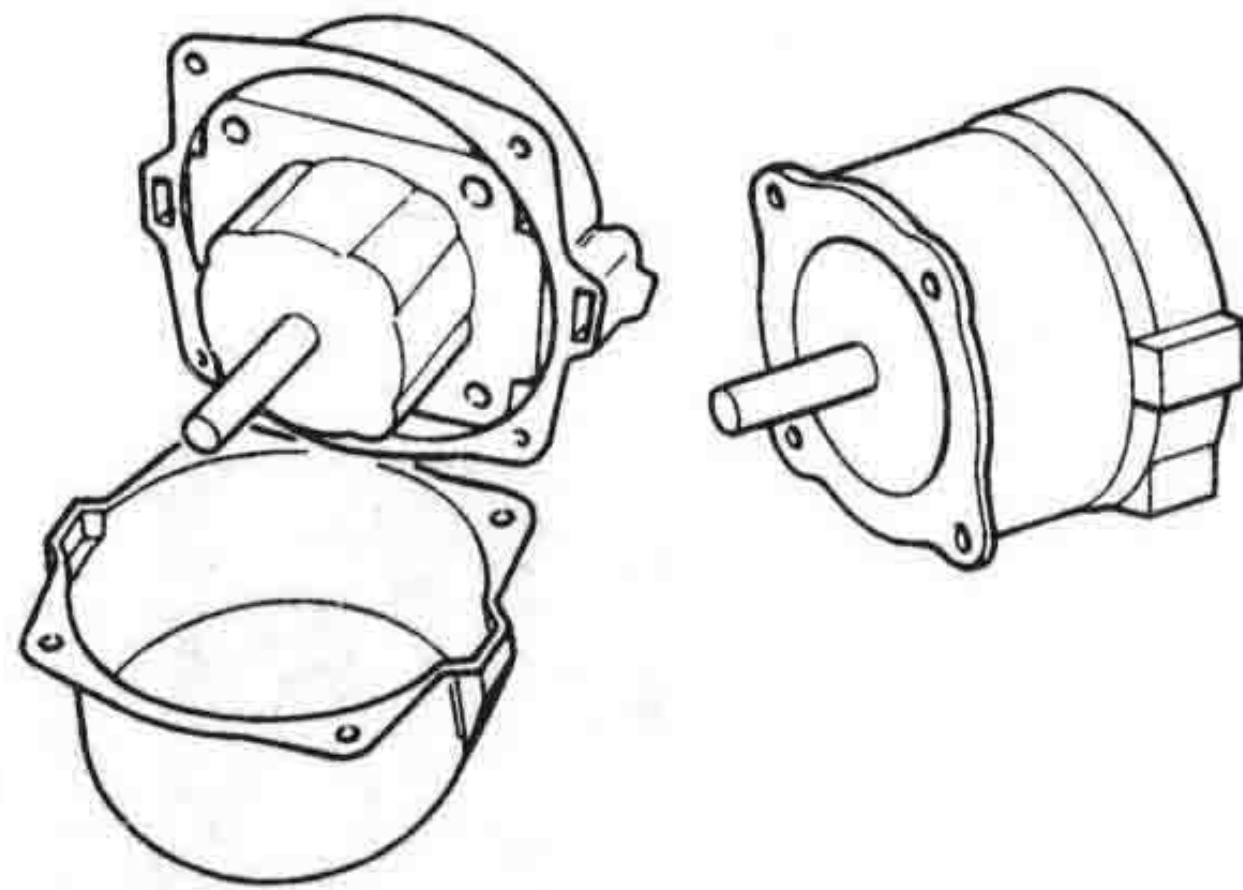


图 15-20 机电制动器（Reliance 产品）

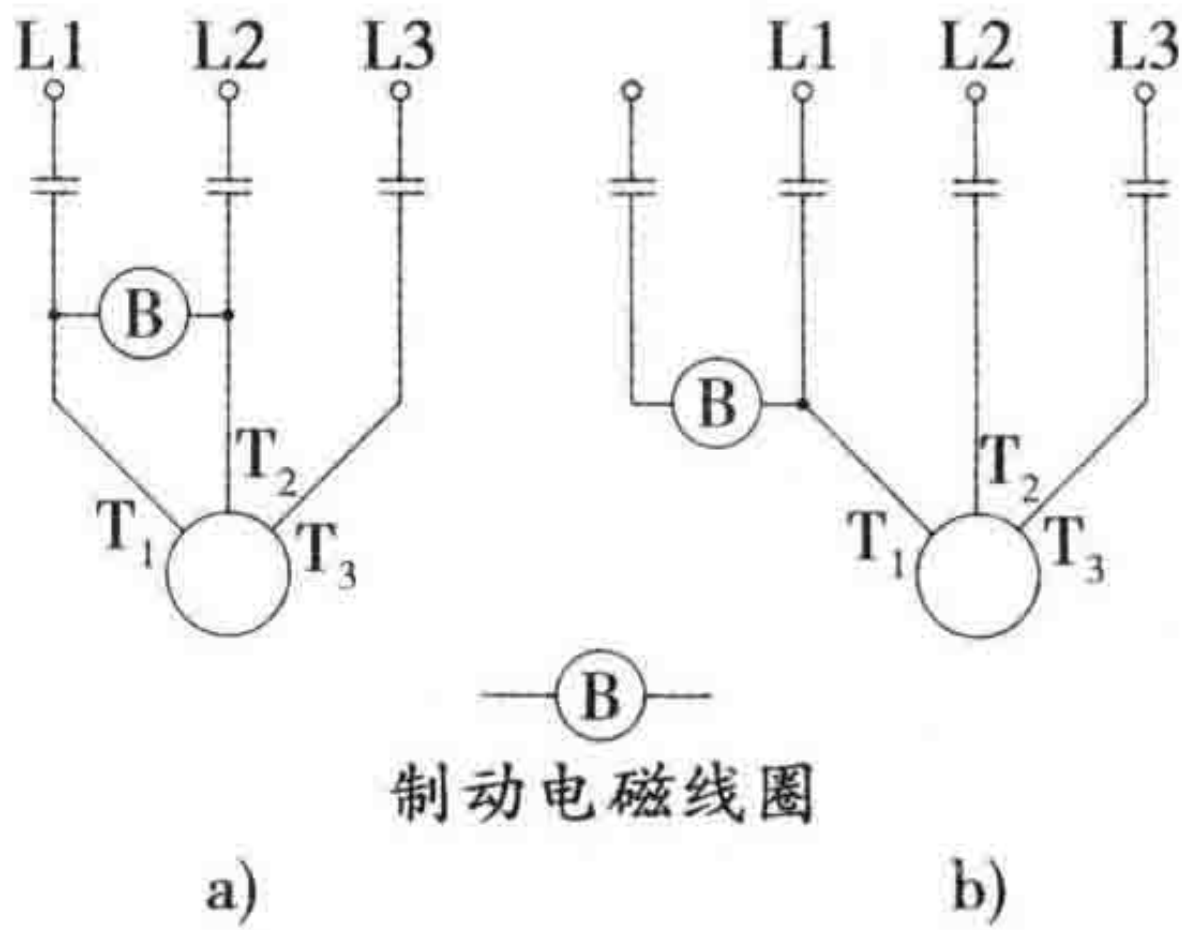


图 15-21 全压起动下交流制动线圈的连接

15.9.3 推杆制动器

推杆制动器通过提供一个平滑、固定的力矩来维持或终止交流或直流电动机的运行（见

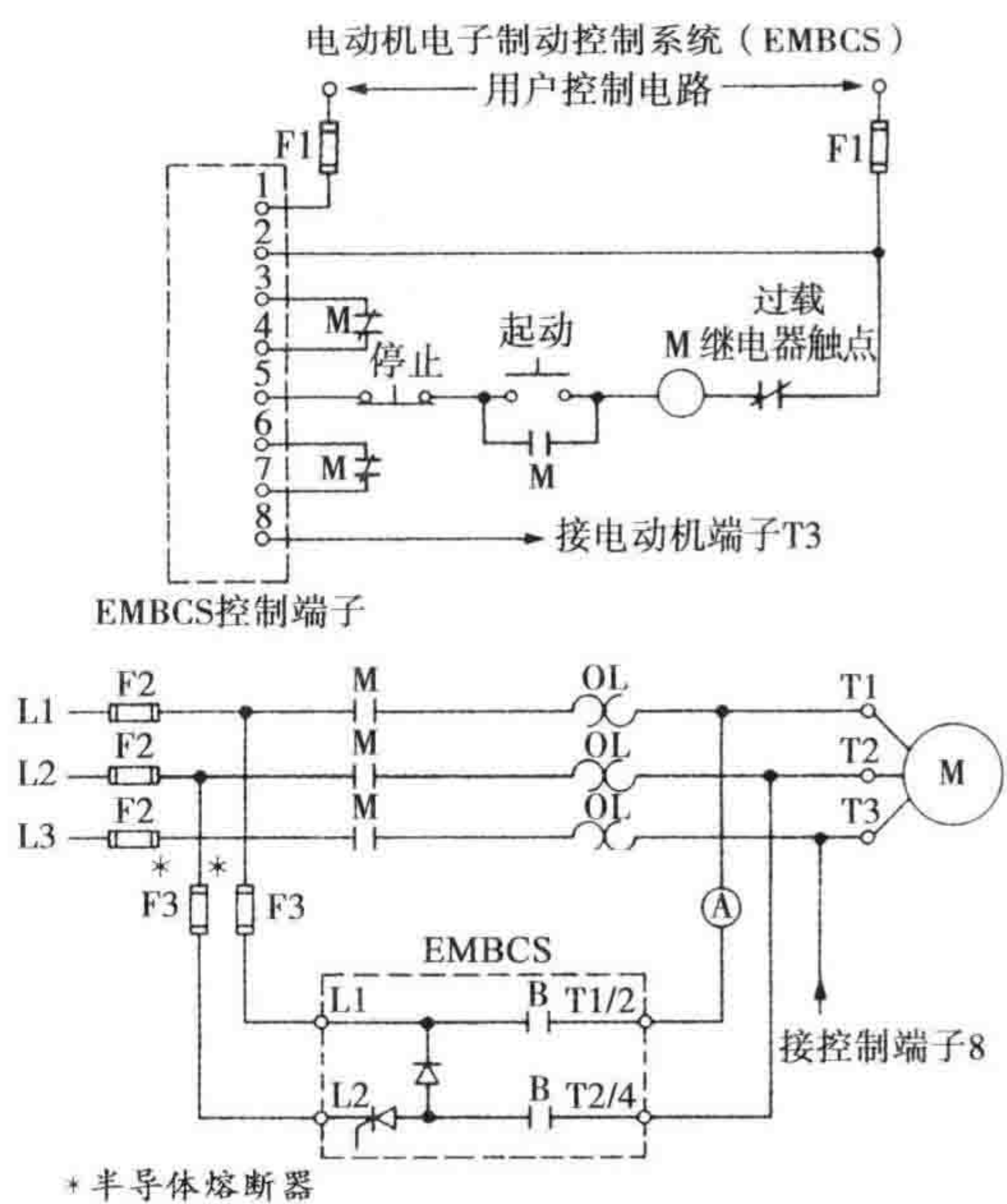


图 15-19 电动机电子制动接线图（Square D 产品）



图 15-22 )。它们应用于起重机驱动、升降桥、传送带和其他类似应用中以减少负载的摆振以及负载对电动机和机械系统的影响。这些制动器由推进装置开启，这个独立的机械装置包含一个交流笼型电动机和液压泵。断电时，抽水停止，顺利启动制动。

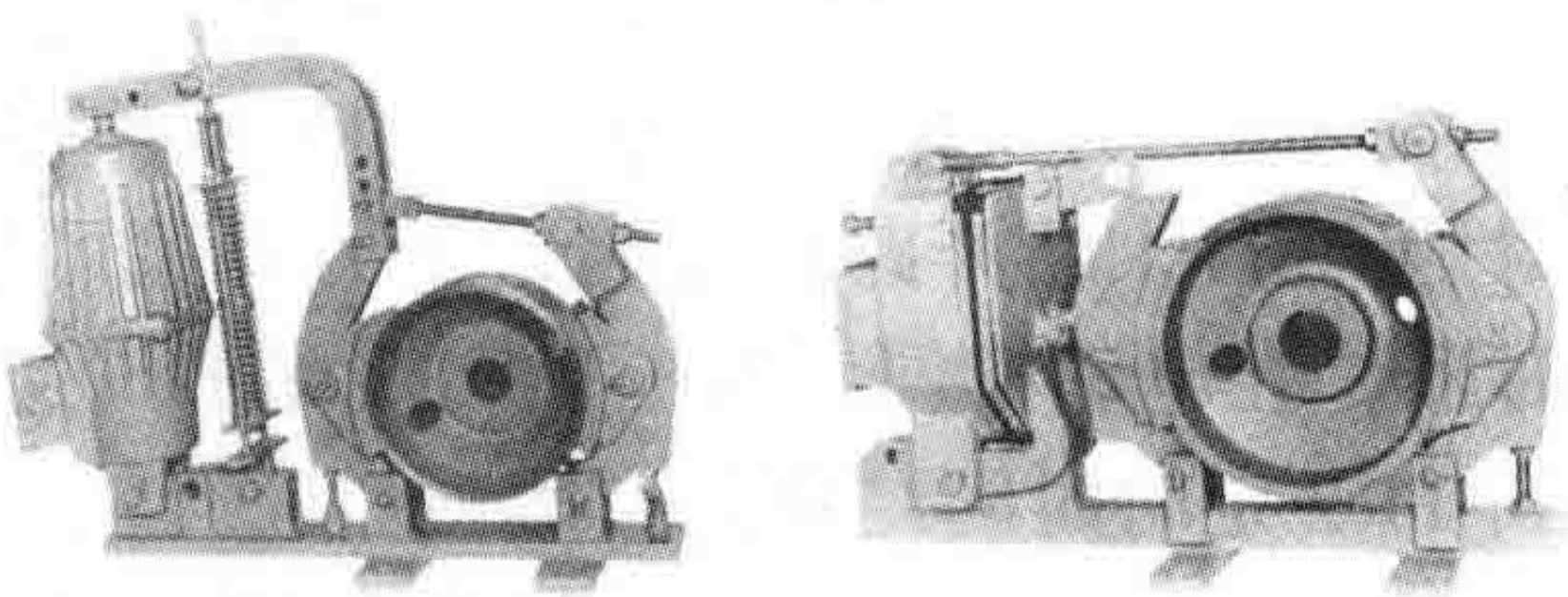


图 15-22 推杆制动器 (Square D 产品)

15.9.4 电磁式制动器

制动器是根据特定应用所需的转矩大小来进行选择的。一般来说，电动机的额定转矩是确定所需制动转矩的基础。通过如下公式可以计算出交流和直流电动机所需转矩（其中额定功率的单位为 hp，额定转速的单位为 r/min）：

$$\text{转矩} = \frac{\text{额定功率} \times 5252}{\text{额定转速}}$$

根据驱动对象的不同特性，电动机所需的制动转矩会大于或小于额定转矩。除了用来满足特定应用下所需的转矩外，电磁制动器还必须要防止制动盘出现过热现象。

15.9.5 液压式制动器

液压式制动器采用交流或直流电动机为控制器提供无限可调整转矩以实现系统的降速或停止。这类制动器应用于起重机、磨粉机、传送带以及其他类似的工作场合中。弹簧释放装置、液压脚踏式摩擦制动器的设计符合美国钢铁工程师 (AISE) 标准。标准的制动组件包括耐腐蚀硬件和润滑配件（见图 15-23）。图 15-24 显示了一个典型制动配管图。

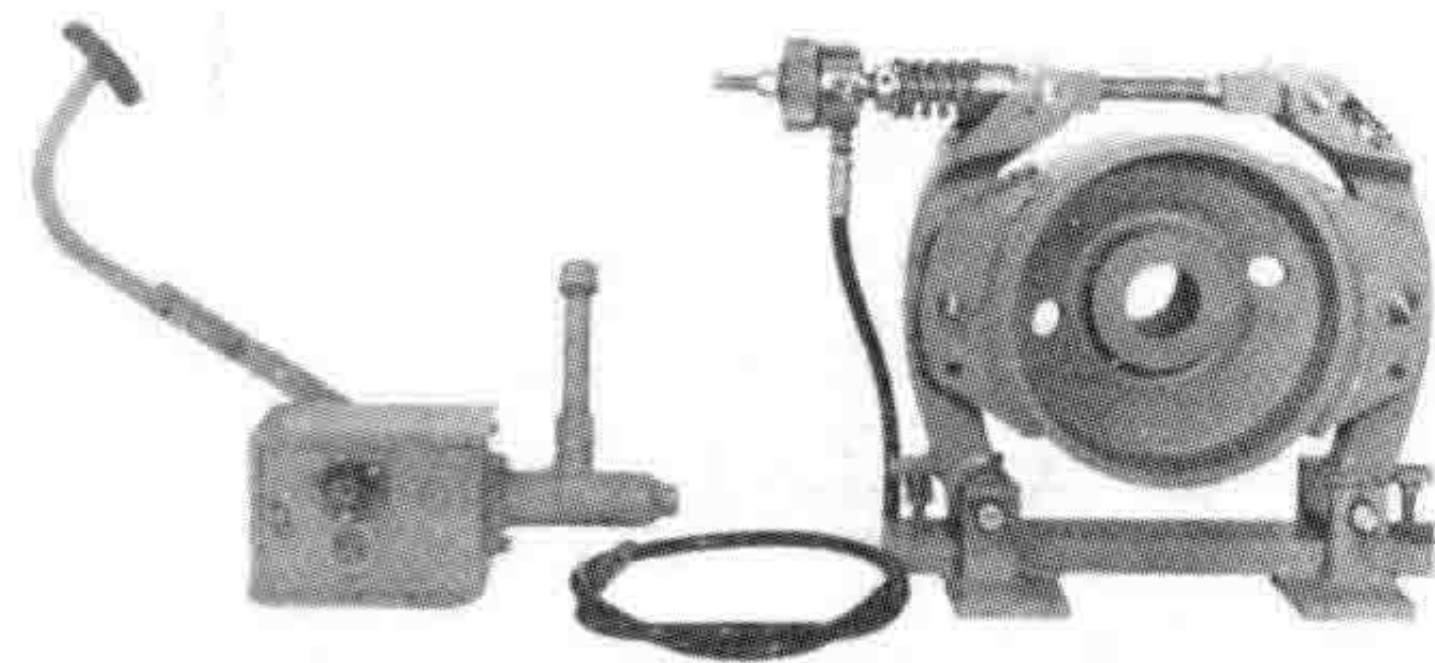


图 15-23 液压式制动器 (Square D 产品)

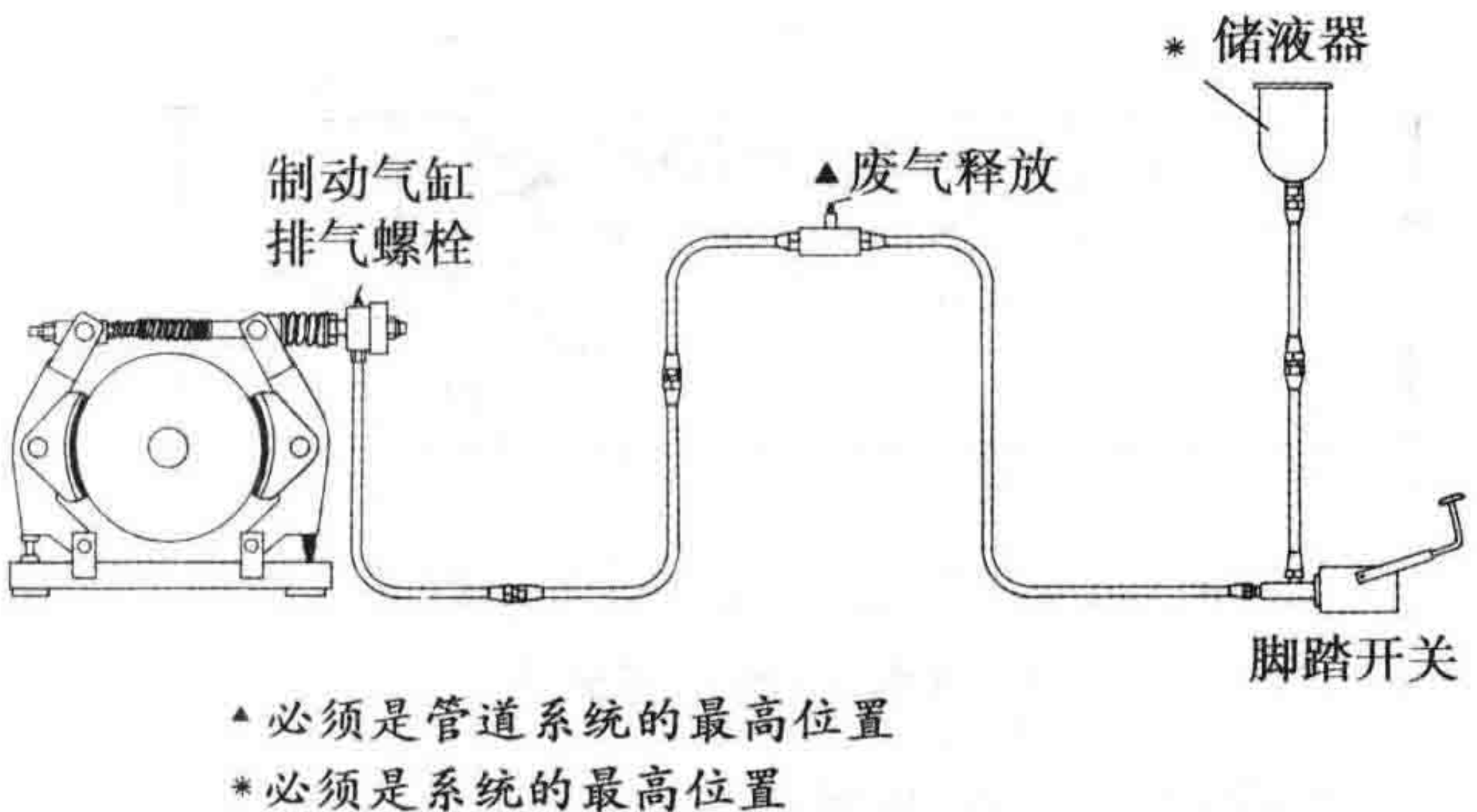


图 15-24 制动器典型管路示意图 (Square D 产品)

15.10 电动机保护

不同类型的电动机可以驱动不同类型的机械设备，所以电动机的保护也采取多种形式。电动机最常用于驱动各种泵。喘振保护和逆转保护都是泵中经常采用的保护，因此起动器的电路设计也要考虑这两种保护。

15.10.1 喘振保护和逆转保护

喘振保护和逆转保护是泵需要考虑的两种主要保护。在泵停止运行时，高压水流被单向逆止阀关闭，此时就需要启动喘振保护。紧急停车可能引起喘振，造成压力开关的触点动作，使起动器颤动。

图 15-25 显示的是系统在电动机启动或停止时如何提供保护的，自动逆转保护也包含其中。这里使用了两个时间继电器（定时器），一个在启动时提供喘振保护，一个在电动机停



止时提供喘振保护及逆转保护。TR1 是一个通电延时定时器，用于电动机起动时的喘振保护。当压力开关的触点闭合时，继电器 CR、起动器和两个定时器得电，TR1 的瞬时触点闭合，旁路掉压力开关触点，防止泵的起动器掉电甚至起动喘振断开了压力触点。定时时间到，延时触点 TR1 断开跨接支路，压力开关可以在适当的压力下停止泵。TR2 是一个断电延时定时器，在电动机停止时提供喘振保护与逆转保护。TR2 一旦失电，系统将无法再次操作，直到 TR2 定时时间结束，常闭触点闭合。

图 15-26 显示了在电动机停止运行时另一套逆转保护和喘振保护系统。该系统也有延时继电器，它在压力开关闭合以及电动机起动之间提供时间延迟。压力开关接通定时器 (TR)，电动机不能起动，直至延时触点闭合。定时器可以设定一个足够长的时间以确保所有的喘振与逆转情况消失。

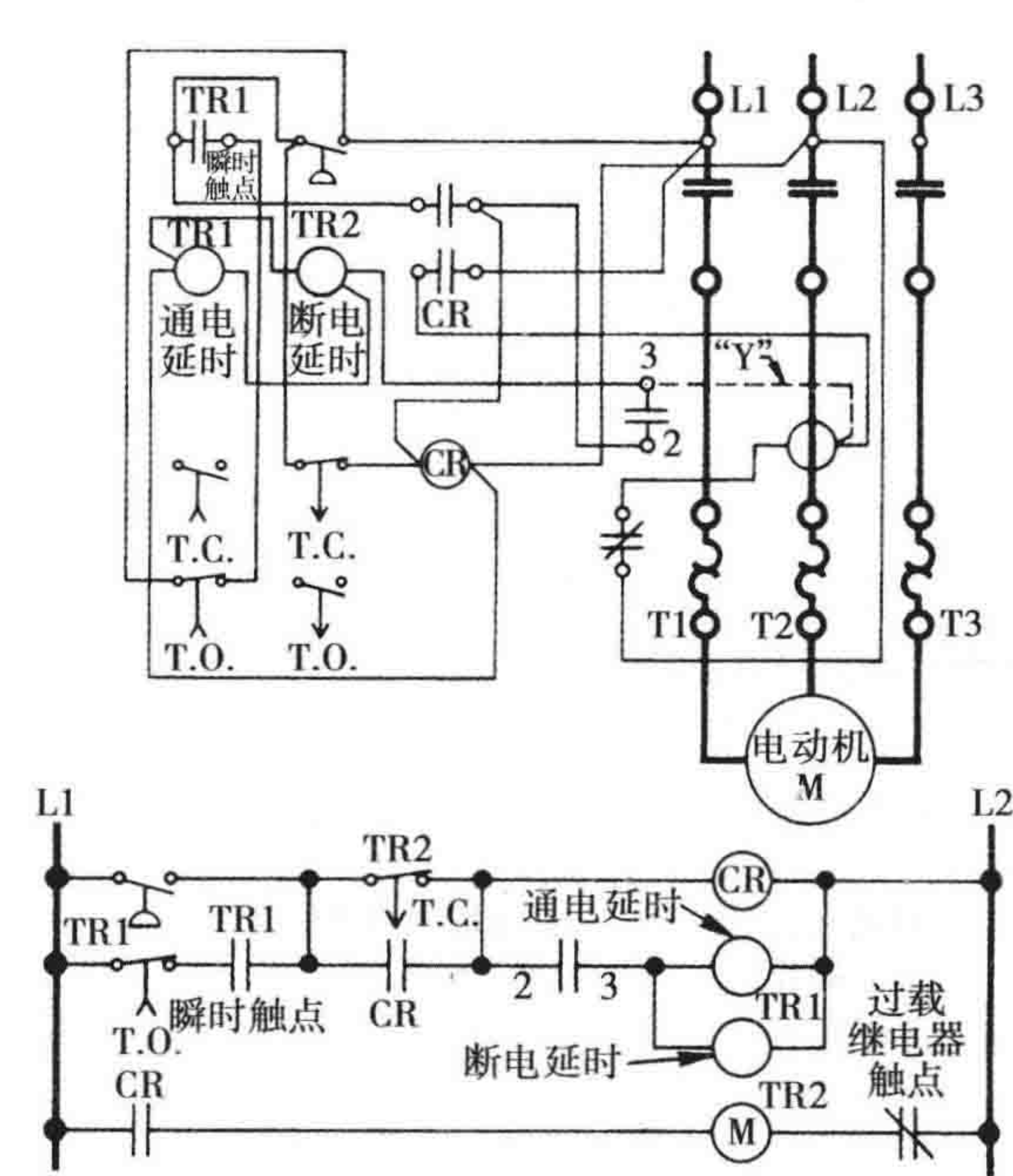


图 15-25 起动与停止时具有喘振保护的泵控制电路 (Allen-Bradley 产品)

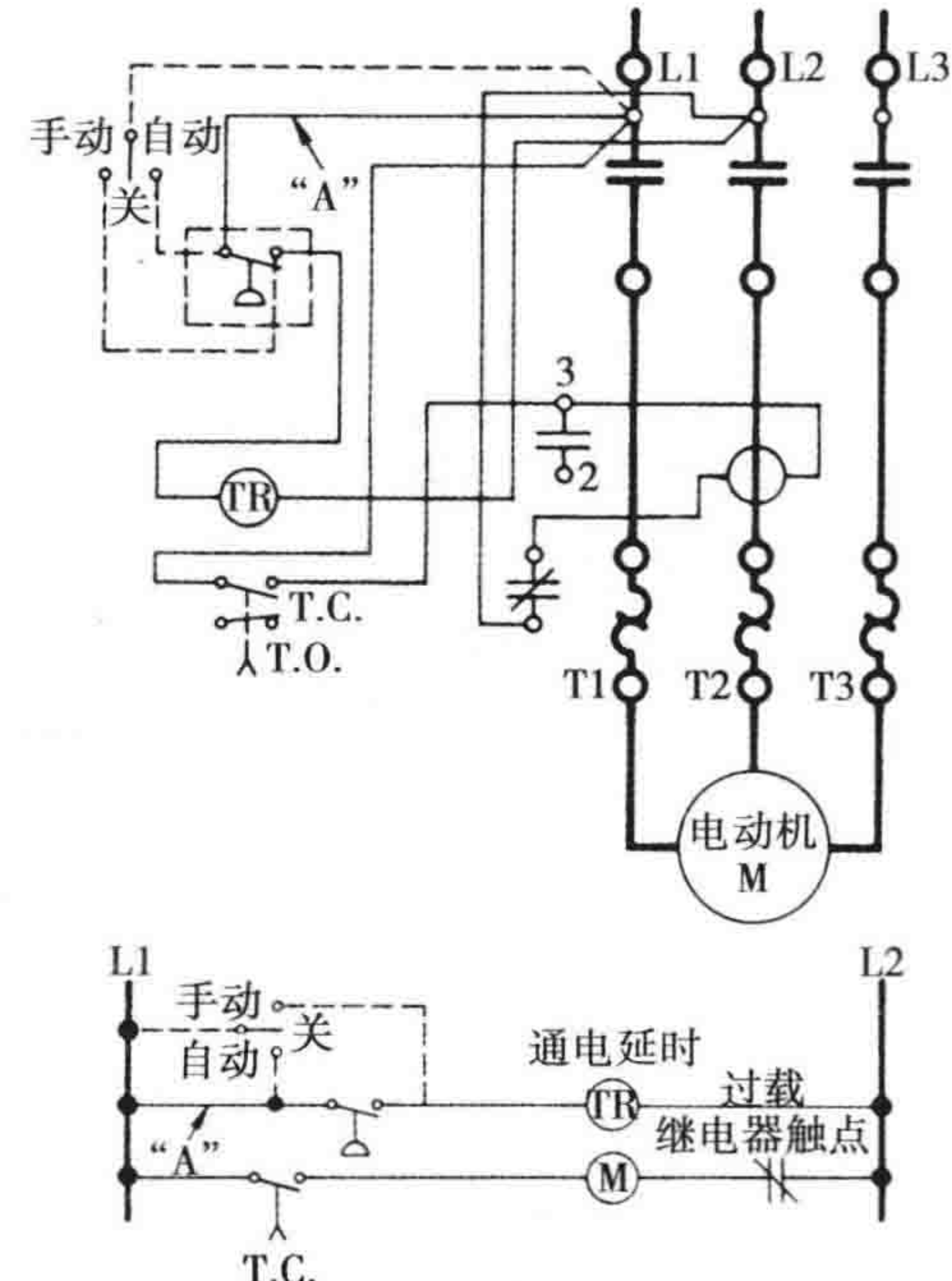


图 15-26 具有逆转保护与喘振保护的泵控制电路 (Allen-Bradley 产品)

虚线显示了在必要情况下，如何加入选择开关来旁路压力开关。这通常用于电动机试验，然而它不能取代时间继电器。如果使用选择开关，那么导线 A 必须去除。

15.10.2 过载保护

过载继电器是一个人工复位的易熔合金型热过载保护设备 (见图 15-27)。当它与合适的短路保护配合使用时，过载继电器可以保护电动机、电动机控制器和电源线，防止过电流导致电源线过热。

易熔合金组件是由流过的电流进行加热的。当其温度达到易熔合金的熔点时，继电保护装置动作，致使其常闭触点断开。

当易熔合金变硬后，按下并释放复位操作键即可实现过载继电器触点的复位。易熔合金凝固大约需要 2min 的时间。

15.10.3 过载继电器自动复位

图 15-28 显示了一个间接加热、自动复位的不平衡热敏继电器。该继电器的热敏部件是



一个双金属 U 型片，它能与精密瞬动开关配合使用。双金属片由流过热元件的电动机电流进行加热，由于两片金属的受热膨胀系数不同，所以双金属片产生弯曲。当持续电流大于热元件的额定值时，将使金属片充分弯曲，这样即可使瞬动开关的触点断开。

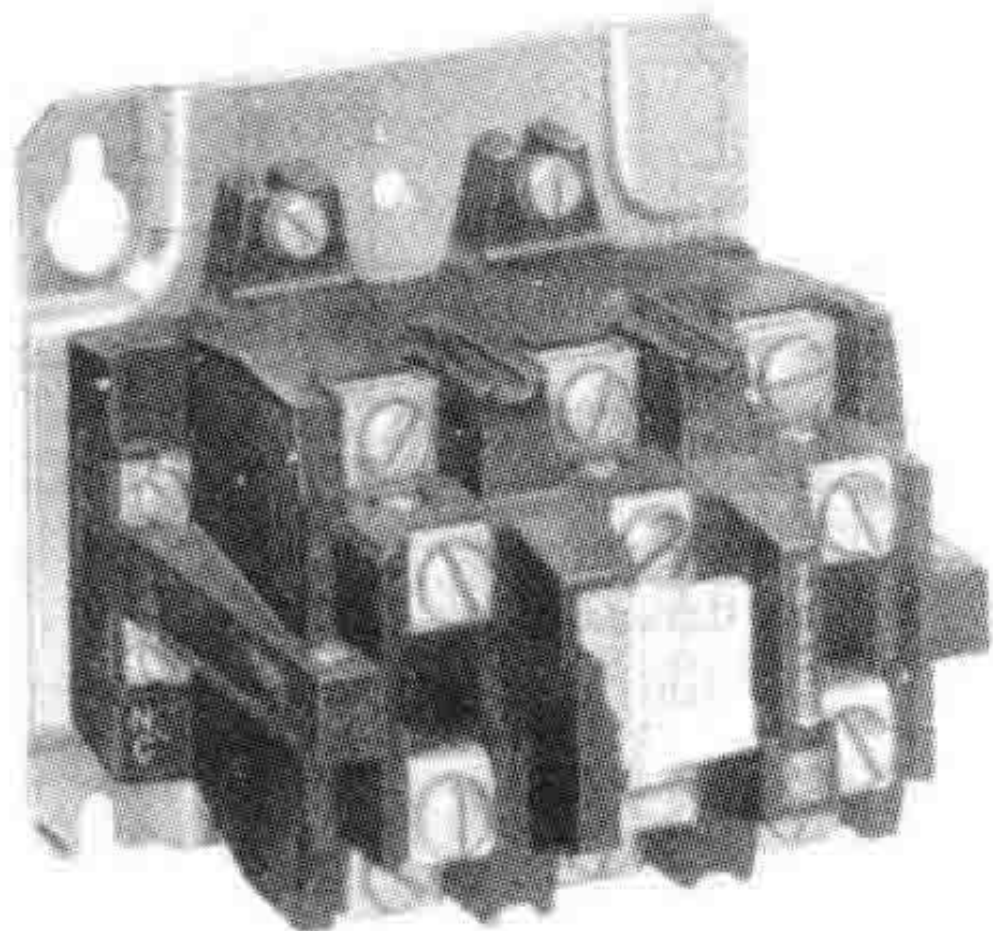


图 15-27 易熔合金型热过载继电器  
(Allen-Bradley 产品)

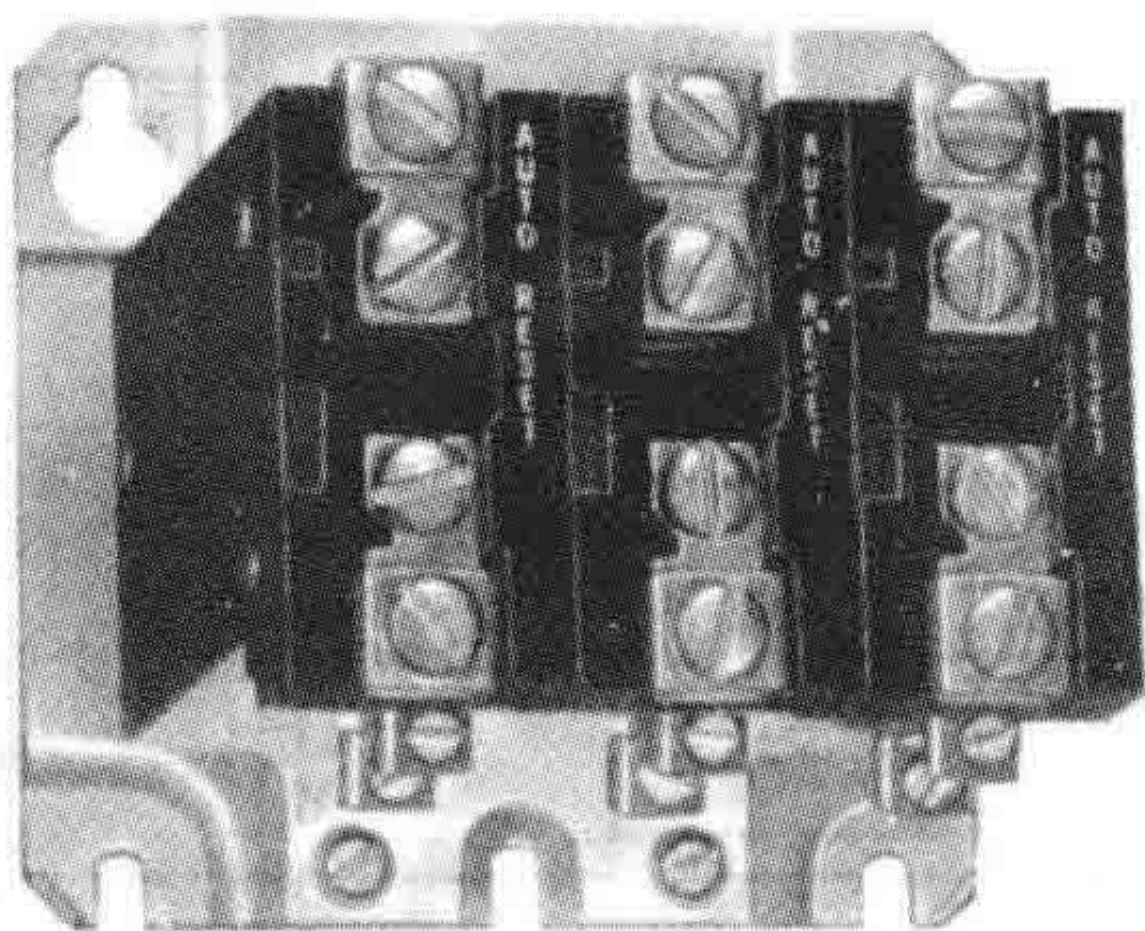


图 15-28 具有自动复位功能的过载继电器  
(Allen-Bradley 产品)

15.10.4 反时限电流继电器

图 15-29 显示了一个电磁控制的反时限电流过载继电器，该继电器可以保护交流电动机或者直流电动机。跳闸电流和跳闸时间都比较容易调节。这种继电器一般含有常闭触点，而且支持自动复位。为了防止继电器损坏，继电器跳闸后，继电器线圈随即失电。

15.10.5 固态线电压与线电流监测继电器

线电压与线电流监测器是一种用于三相系统中的固态保护设备，保护电动机和其他负载免受异常电压或电流的影响。一般情况下，线电压监测器（见图 15-30）用于起动前线路电源侧的保护，该保护非常重要；而线电流监测器则用于线路与负载间的保护，该保护也很重要。

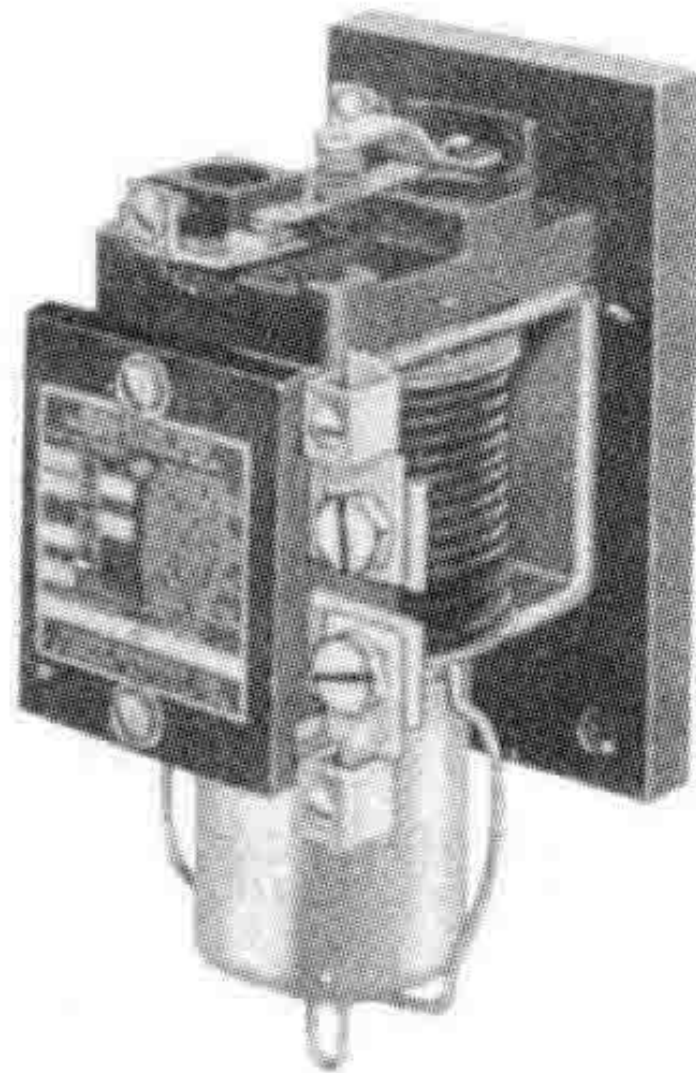


图 15-29 反时限电流继电器 (Allen-Bradley 产品)

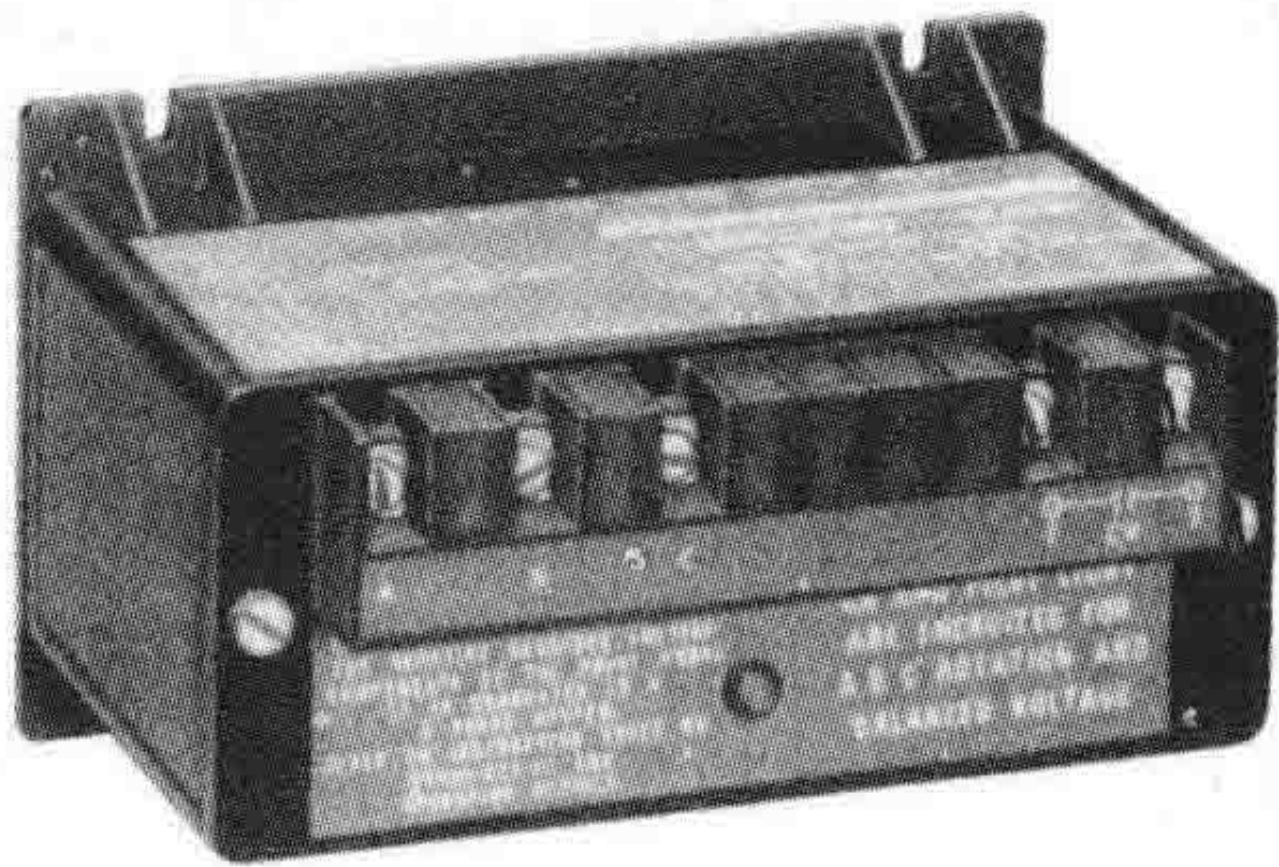


图 15-30 线电压监测器 (Allen-Bradley 产品)

**线电压监测器** 线电压监测器可以检测相故障、电压不对称、反相以及欠电压现象（见图 15-31a）。它为连接点线路侧提供起动前与运行中的保护，并可直接与高达 600V 的三相线路相连。当线电压超过 600V 时，它可以和电压互感器配合从而完成监测。它还具有自动复位功能、LED 显示正常电压状态功能，同时激励输出继电器 CR。

**线电流监测器** 线电流监测器检测相故障、电流不对称及反相。当它应用在单电动机分支电路时，可以提供连接点线路与负载间的运行保护。它的输入来自电流互感器（二次侧电流为 5A）。一个 LED 可以显示电源电压。人工复位装置也有一个 LED，用来显示正常的电流状态，并激励输出继电器 CR（见图 15-31b）。电流不对称保护仅在电动机运行过程中起作用，而相故障与反相保护则在电动机起动与运行过程中都起作用。



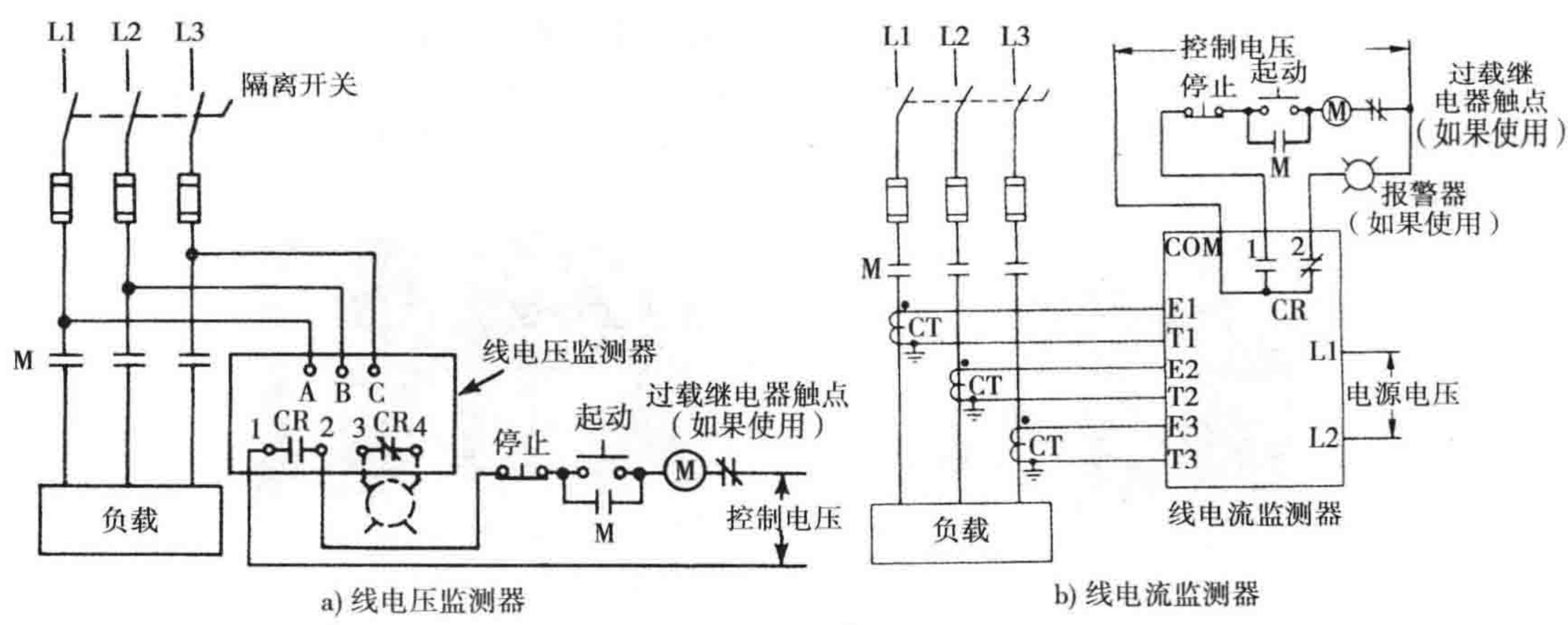


图 15-31 线电压 / 电流监测器 (Allen-Bradley 产品)

15.10.6 可编程电动机保护

Allen-Bradley 公司生产的可编程电动机保护器在模块化系统里面集成了复杂、全面和协调的电动机保护功能 (见图 15-32)。

它被用来保护系统或者工程中十分重要的大型昂贵电动机。通常, 这些电动机的工作电压为中压 (2300~7200V) 或者是大功率低电压 (200hp 或更大) 的电动机。

此装置通过处理输入数据以及在众多的电动机参数中查找变化趋势以提供高度协调的电动机保护。它会对不正常状态报警, 并且提供一个输出信号使电动机退出运行。使用报警与跳闸触点也可以正常关闭一个运行过程。



图15-32 可编程电动机保护器 (Allen-Bradley 产品)

15.10.7 保护模块

保护模块是系统中的主要模块, 它由输入、报警器面板和输出 3 部分组成。模块的输入信号来自于外部的电压互感器 (三相线电压) 与电流互感器 (三相线电流)。这些输入信号是电动机运行的实时数据的一部分 (见图 15-33), 其余的输入信号包括编程器 / 监测器的输出信息以及远程电阻温度探测器 (RTD) 模块的输出信息。

保护模块检测电动机的输入参数并将其与用户设定的参数限定位进行比较, 然后决定电动机是否应该退出运行。模块提供了报警和跳闸信号, 并且形象化地显示电动机的不正常状态。

15.10.8 远程温度探测器模块

RTD 模块是一个远程温度收集面板。它是一个微处理器, 用于温度数据采集和协调保护模块的请求。保护模块运用 RTD 采集到的温度数据为电动机内部的铜和铁建立热模型。

RTD 模块扫描 8 个 RTD (其中 2 个用于测量轴承温度, 6 个用于测量绕组温度)。它接收模拟信号, 并将其数字化, 然后进行线性化表示 (补偿 RTD 的非线性特性), 计算信号大小, 最后将计算结果输入给有需求的保护模块。对于没有 RTD 嵌入定子绕组和轴承的电动机, 电动机保护仍然可以通过保护模块来完成。



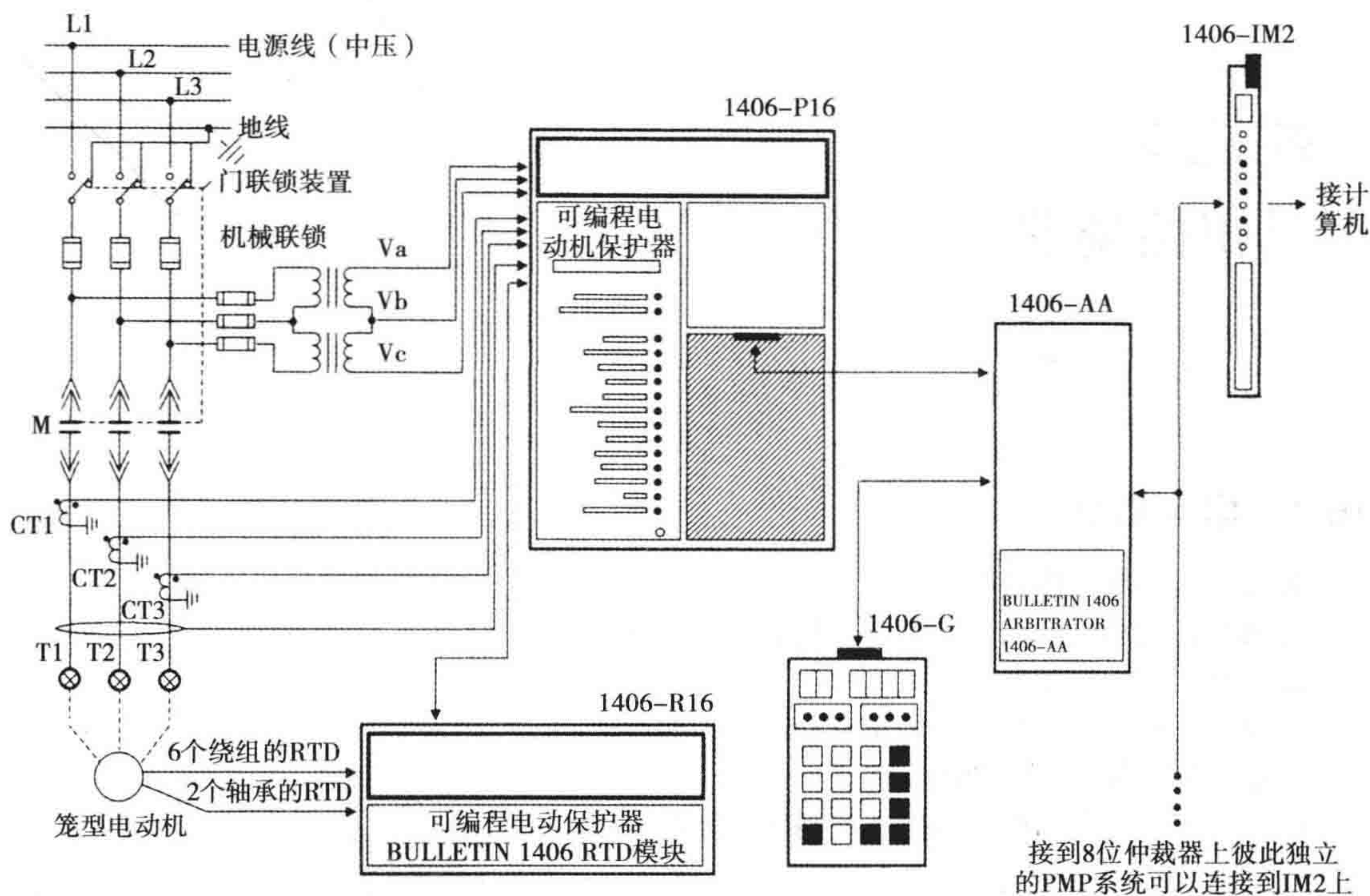


图 15-33 具有通信选项的系统配置（Allen-Bradley 产品）

一个选配的仪表卡可以使可编程电动机保护（PMP）提供多种计量功能（见图 15-34）。

它可以提供以下信息：

- 运行时间：h
- 总消耗能量：MW · h
- 功率因数：超前 / 滞后
- 功率：kW

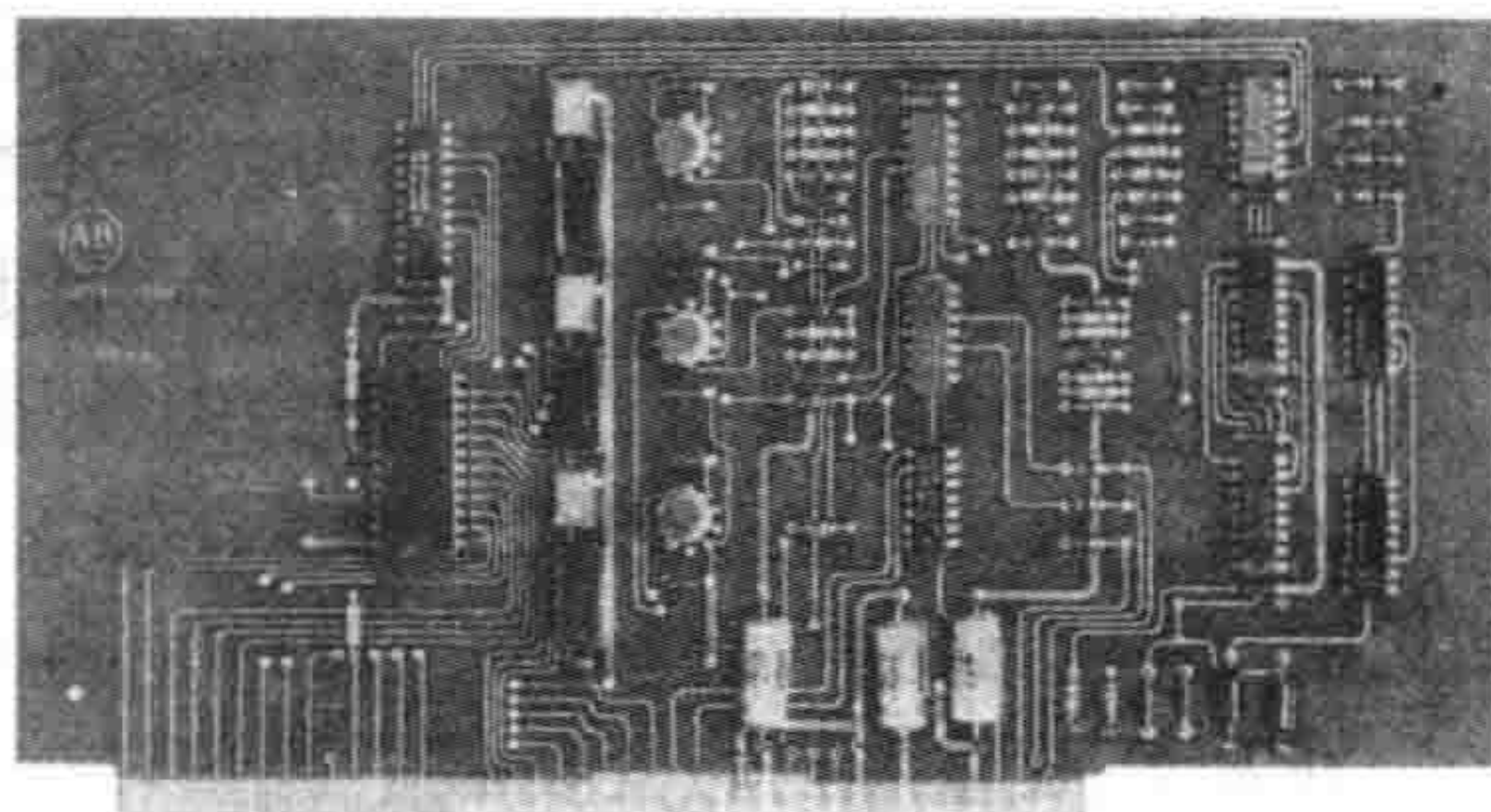


图 15-34 PMP 的仪表卡（Allen-Bradley 产品）

## 15.11 思考题

1. 手动起动器能为电动机提供什么功能？
2. 低电压保护意味着什么？
3. 低电压保护是怎么实现的？
4. 什么是软起动？
5. 什么是电流限制？
6. 什么是电动机点动？它是如何实现的？
7. 什么是反接制动？它是如何实现的？
8. 电动机是如何制动或者停止运行的？
9. 电子制动方法的 6 个优点是什么？
10. 电子制动的另一个名称是什么？
11. 逆转保护是什么？
12. 引起起动器抖动的原因是什么？
13. 什么时候使用线路监测器？
14. 线电压监测器的功能是什么？
15. 报警意味着什么？
16. 手动起动器用在哪里？
17. 符号Ⓜ代表着什么？
18. 什么设备需要低电压保护？
19. 机电设备正在被什么装置所取代？
20. 为什么主起停按钮要和控制继电器一起工作？



## 第 16 章

# 三相控制器

### 16.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 列举出电动机的运行与控制过程中需要考虑的因素。
2. 列举出三相起动器的种类。
3. 画出三相电动机起动 - 停止点动控制的梯形图。
4. 描述如何使三相电动机反转。
5. 列举出三相电动机使用固态控制器的优点。

### 16.2 三相电动机

三相笼型电动机在以基本恒定速度运行时，有较高的可靠性和效率，几乎不需要维护。根据结构的不同，笼型电动机可分为以下几类：正常转矩 - 正常起动电流、正常转矩 - 低起动电流、高转矩 - 低起动电流、高转差率、低起动转矩 - 正常起动电流、低转矩 - 低起动电流。

三相笼型电动机可在不同场合中使用，用处也各不相同，包括：回转式压缩机、机床、大型风扇、轻型传送带、铣床、搅拌器、电梯、起重机、冲床、离心泵以及鼓风机。笼型电动机的功率范围从 0.5~400hp (1hp=746W)。

在需要限速控制与变负载下调整转速时，可以使用绕线式电动机。这种电动机的功率范围是 0.5hp 到几千马力，可驱动传送带、风扇、升降桥、吊车、起重机以及金属轧机。

同步电动机的功率范围在 20hp 到几千马力之间，可用于功率因数补偿、精确的低速驱动，当功率高于 75hp 时持续带载，其效率最高。

目前，这些电动机利用现有设备，可以相对比较容易起动。然而，有些使用方法需要特别考虑。控制器不仅是起动器，起动器可以使得电动机起动或停止；控制器不仅可以起动电动机，还可以（根据其设计意图）使电动机反转，而且可以根据需要改变转速与转矩。电动机控制方面的情况需要特别考虑，它与电路以及机电设备的使用略有不同。更多的固态设备，如可编程序控制器，被引进控制器这一领域内。为了完全理解这些控制器，我们需要更好地掌握电子学。

在电动机的任何操作以及控制过程中都要考虑以下因素。这些情况可能会导致电动机受损或毁坏。

- 低电压。电动机试图运行，但低压会产生过电流，使电动机过热。
- 重载循环。不停地起动、停止、点动、缓慢转动或者反接制动都会使电动机过载。
- 过载。对电动机来说负载太大。
- 堵转。电动机卡住或不能运转。



- 高惯性负载。电动机加速需要极长的时间。
- 高环境温度。环境温度高会使电动机发热。与较低的环境温度相比，电动机可能无法安全地带动相同的负载。
- 单相运行。一条电力线路发生故障，可能造成电动机有较高的线电流。两个具有合适大小规格的过载继电器将起到保护电动机的作用。当然，如电动机由一个未接地的 Y- $\Delta$ 联结的变压器供电等一些特殊情况除外。
- 通风不良。通风不好，电动机无法散热（这种情况不能被过载继电器保护）。

16.3 起动器

16.3.1 最简单的类型

最简单的三相起动器如图 16-1 所示。图 16-2 给出了起动器简单的接线示意图。从接线的角度来看，衔铁与交叉开关或过载复位装置不需考虑，所以未画在接线图中。注意，L1、L2、L3 在起动器的顶部，T1、T2、T3 在其底部。正如你所看到的，过载保护成为了设备的一部分。

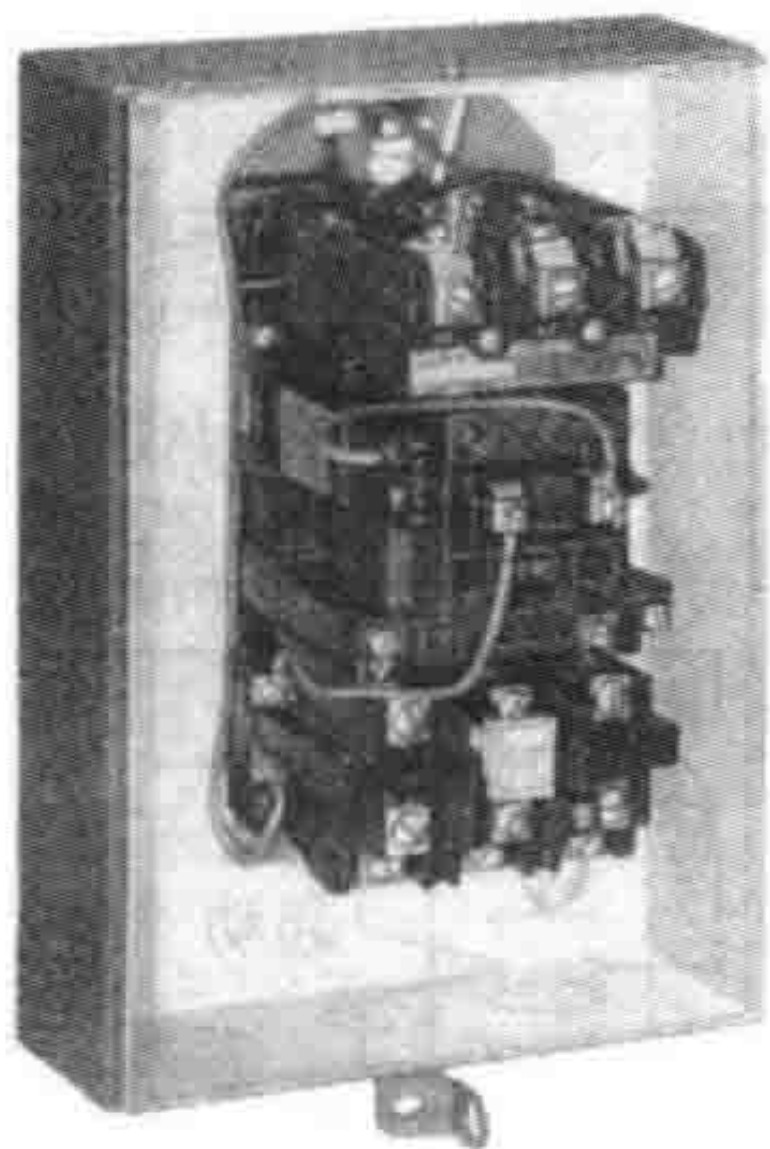


图 16-1 起动器，规格为 1#  
(Allen-Bradley 产品)

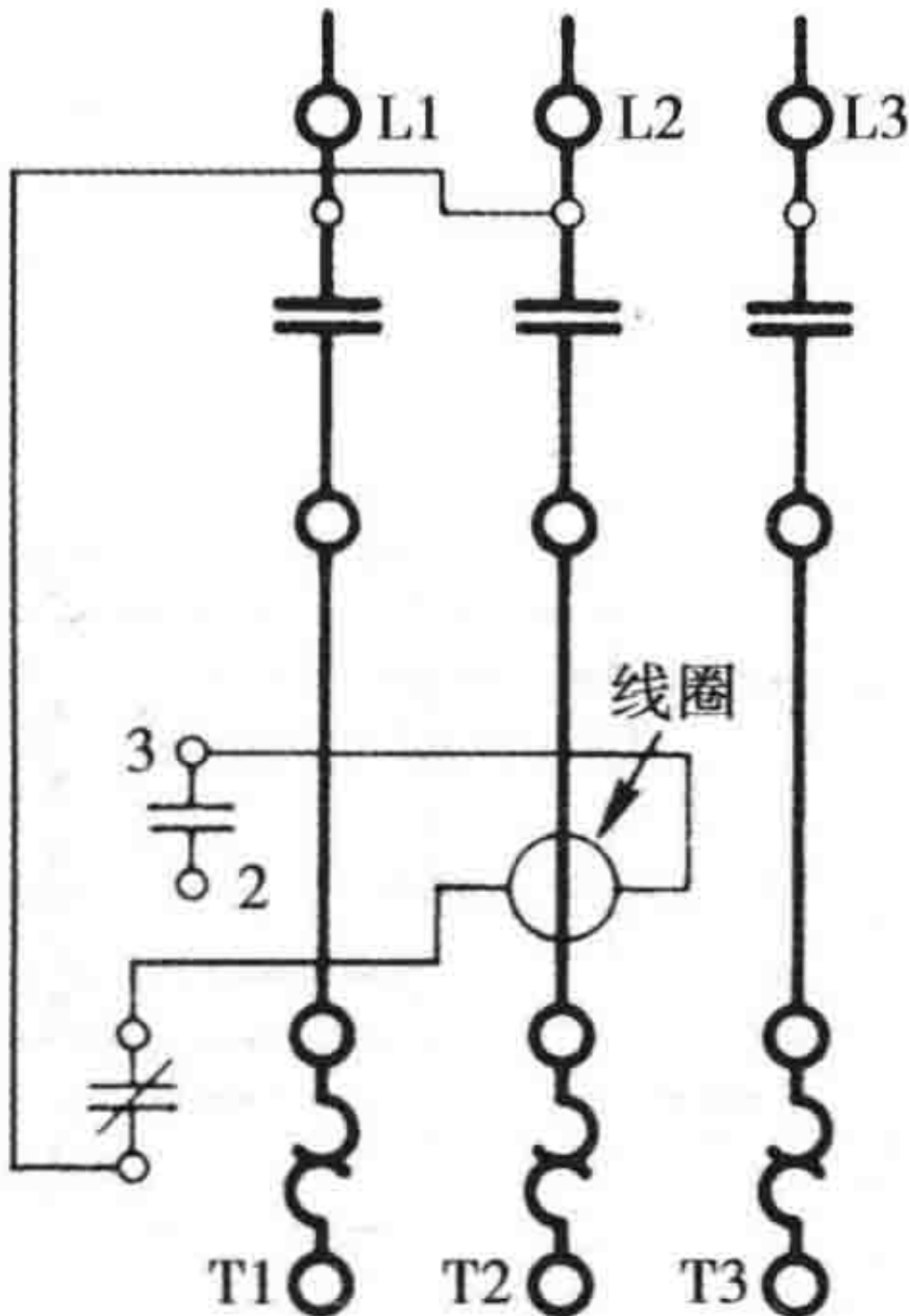


图 16-2 起动器接线示意图  
(Allen-Bradley 产品)

16.3.2 全压双向起动器

电动机可反转的全压起动，接线会复杂一些（见图 16-3）。记住为了将三相电动机反转，需要将两根电源进线互换。注意观察可知，在图 16-4 中，当左侧的触点闭合，L1 与 L3 互换。这也意味着当反转触点闭合时，L1、L2、L3 中的触点会断开。仔细观察示意图，L2 并未切换，反转触点直接跨过 L2 触点，这表明这一条线是没有变化的。也要注意观察，起动器电气互锁的方式，其目的是为了避免两个接触器同时得电。触点同时也要机械互锁，这样两个接触器也不会同时闭合。通常情况，L1 与 L2 会互换来反转。

16.3.3 正转 - 反转 - 停止

带正转 - 反转 - 停止按钮起动器的标准接线如图 16-5 所示。改变与向之前，必须按下停止按钮。

作为标准，所有反转起动器都应用了机械互锁与电气互锁。为了在正反两个方向都可以使电动机在任意地方停转，需要增加一个限位开关。使用限位开关时，需要移除接线 A 与接线 B。



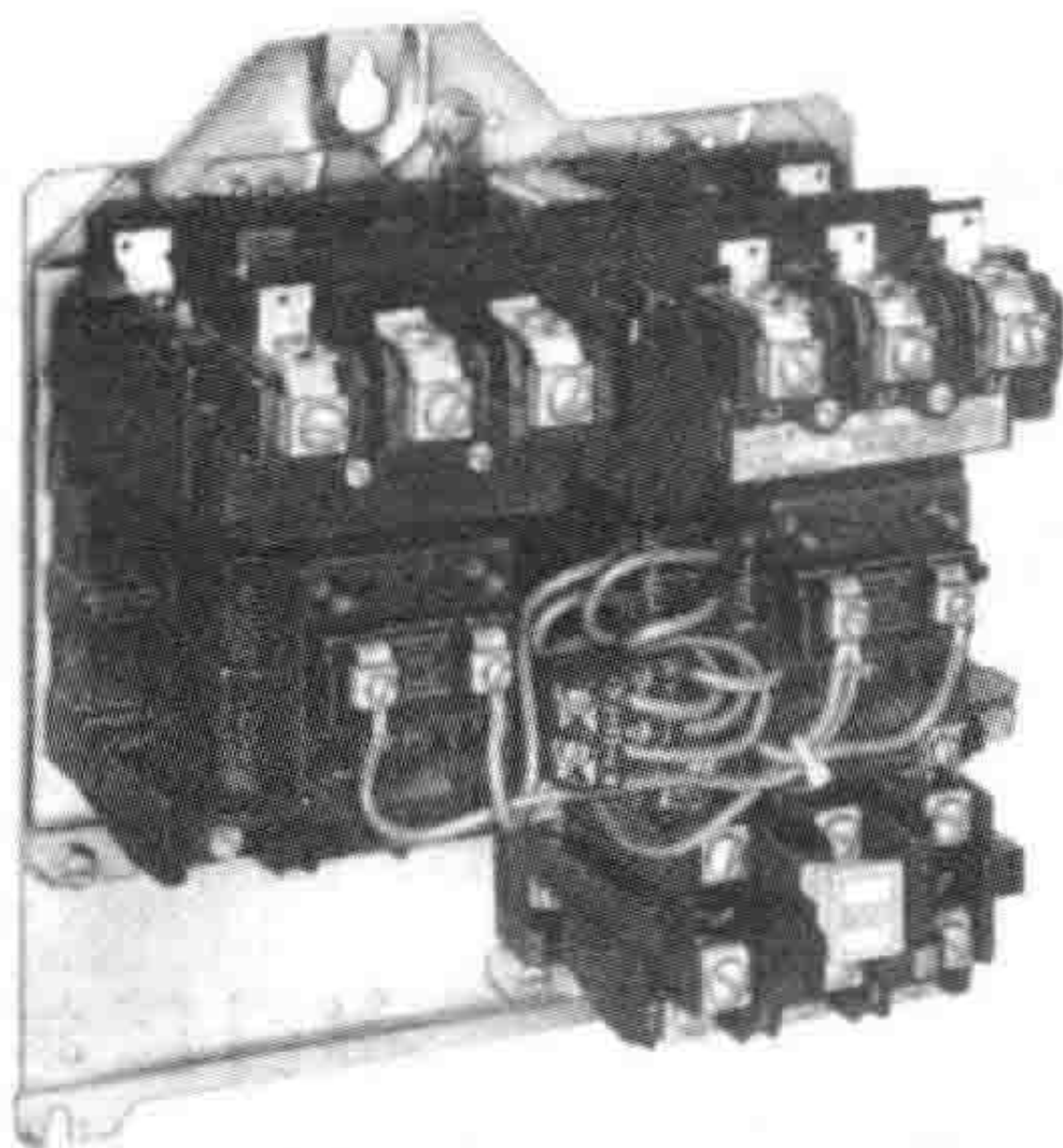


图 16-3 全压双向起动器 (Allen-Bradley 产品)

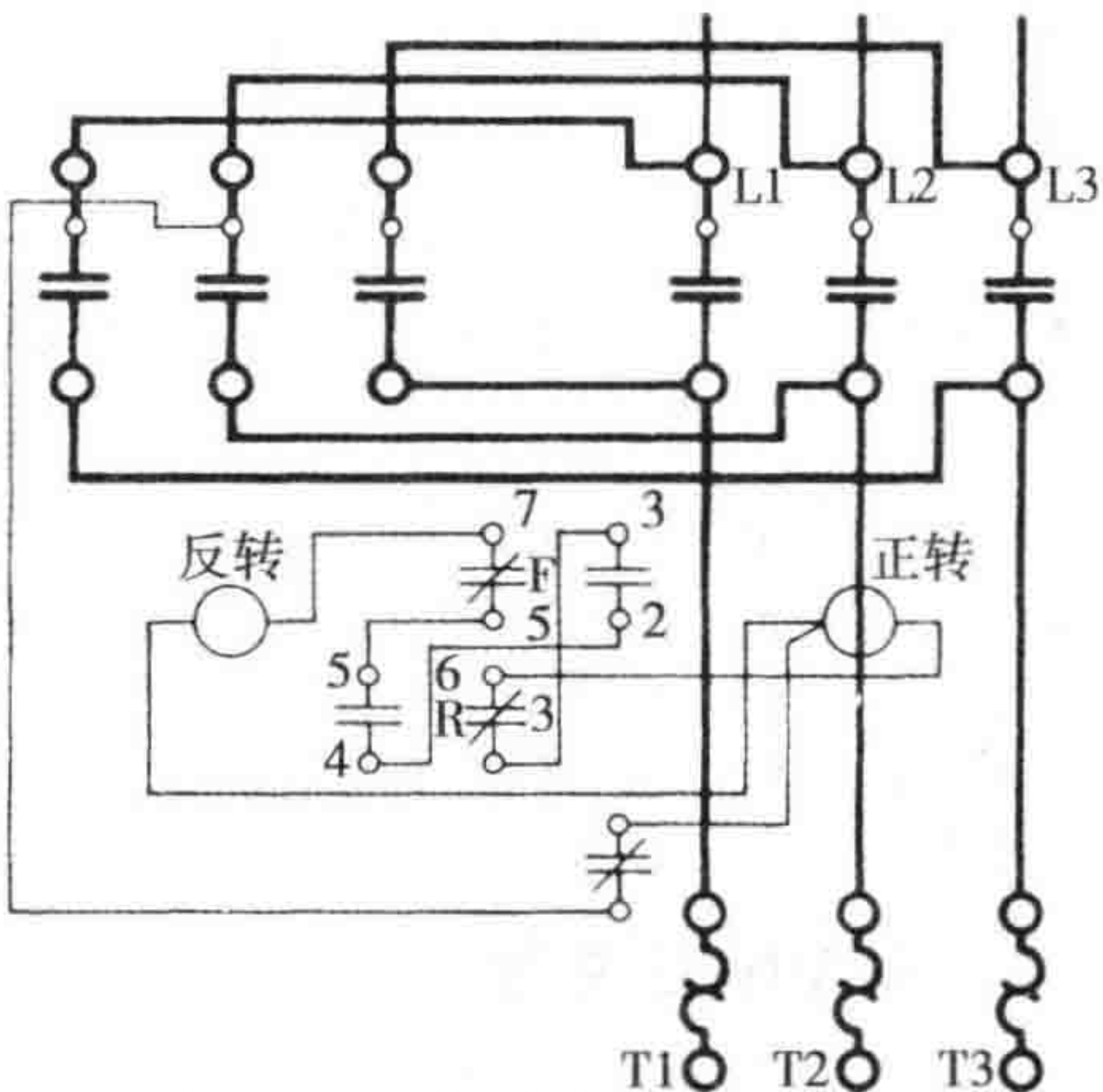


图 16-4 全压双向起动器接线图 (Allen-Bradley 产品)

16.3.4 起动 - 停止 - 点动

点动的目的是：只要按住点动开关，电动机就会转动（见图 16-6）。起动器在点动过程中一定不能自锁，这就是使用点动继电器（CR）的原因。

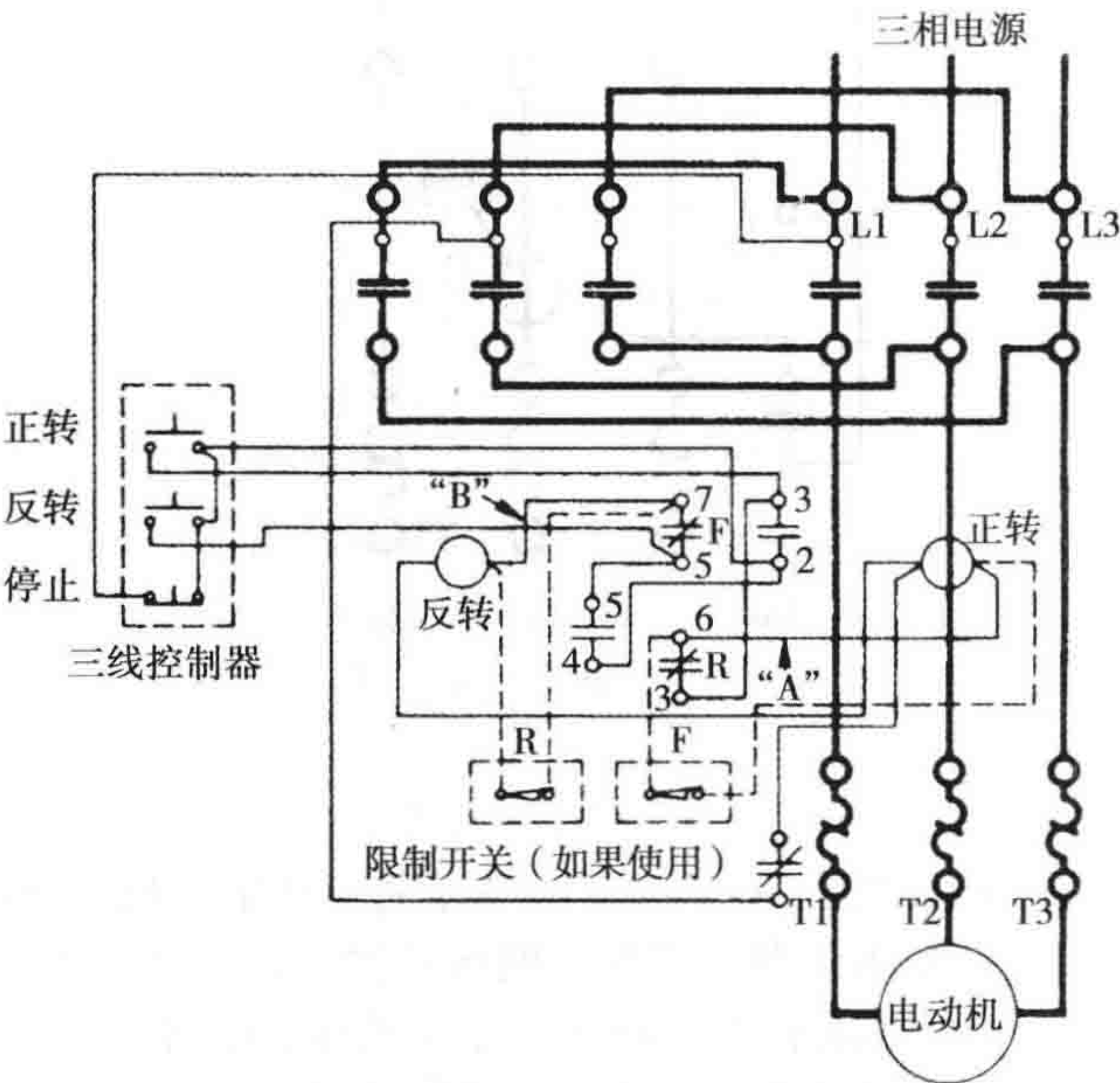


图 16-5 正转 - 反转 - 停止的三相起动器 (Allen-Bradley 产品)

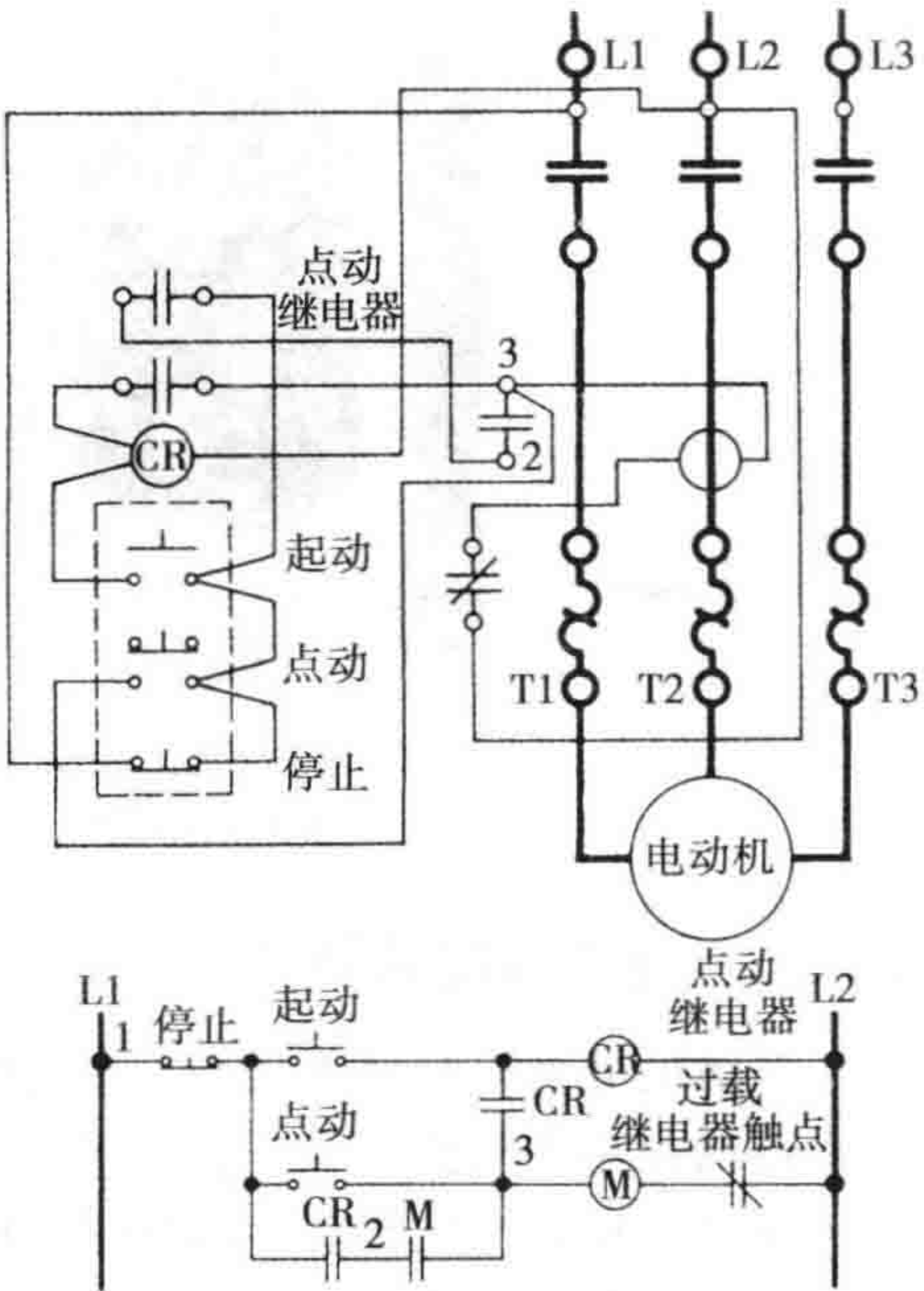


图 16-6 起动 - 停止 - 点动的三相起动器 (Allen-Bradley 产品)

按下起动按钮，点动继电器得电。这会使起动器通过一个继电器触点自锁。按下点动按钮时，起动器工作，但此时点动继电器并未得电，因此起动器不会自锁。

16.3.5 双向起动器

图 16-7 所示为一个手动操作的双向起动器的工作原理。注意其中没有低电压控制电路，这表明不管是起动还是反转，触点都是通过手动设置闭合的。L1 与 L3 交换，L2 则通过一个与起动触点并联的触点直接短路掉。



16.3.6 双速起动器

双速起动器适用于低速绕组与高速绕组独立的电动机，与图 16-8 所示的起动器类似。由于实际要求越来越多，所以需要电动机在不同条件下进行不同的工作。图 16-9 所示为双速独立绕组电动机的典型接线方式。电动机以高速起动或低速起动均可，不必按下停止按钮就可完成从低速到高速的转变。然而，当由高速变为低速时，必须按下停止按钮。

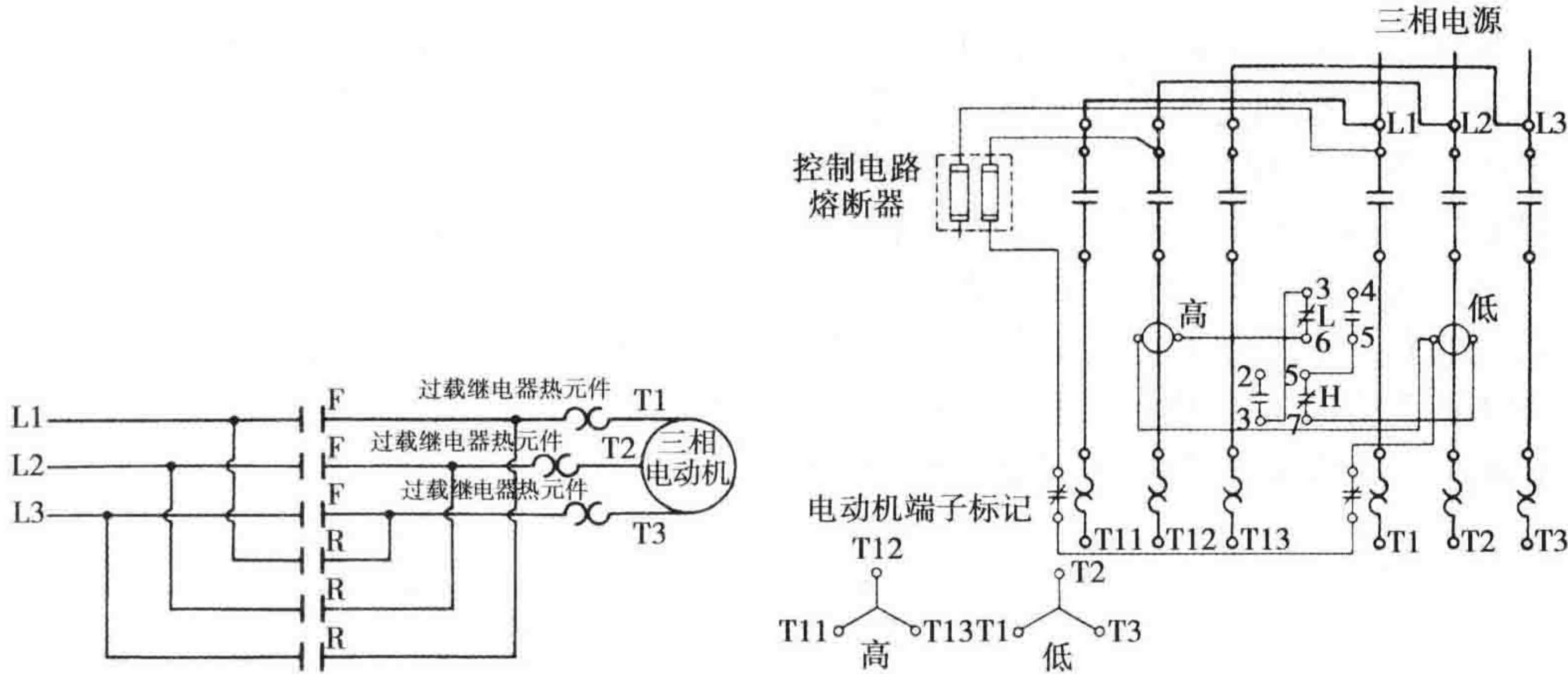


图 16-7 手动双向起动器 (Allen-Bradley 产品) 图 16-8 双速手动起动器 (Allen-Bradley 产品)

16.4 双电动机控制器

控制装置 A 的多次连续闭合操作，会交替起停两台电动机（见图 16-10）。当控制装置 B 闭合时，两台电动机都通电。典型的应用就是水泵电动机，需要使用第二台电动机来应对峰值时间段的需求。对于这一应用，两个控制装置可以是浮动开关也可以是压力开关，当需要两台泵工作时，设定 B 在 A 之后工作。

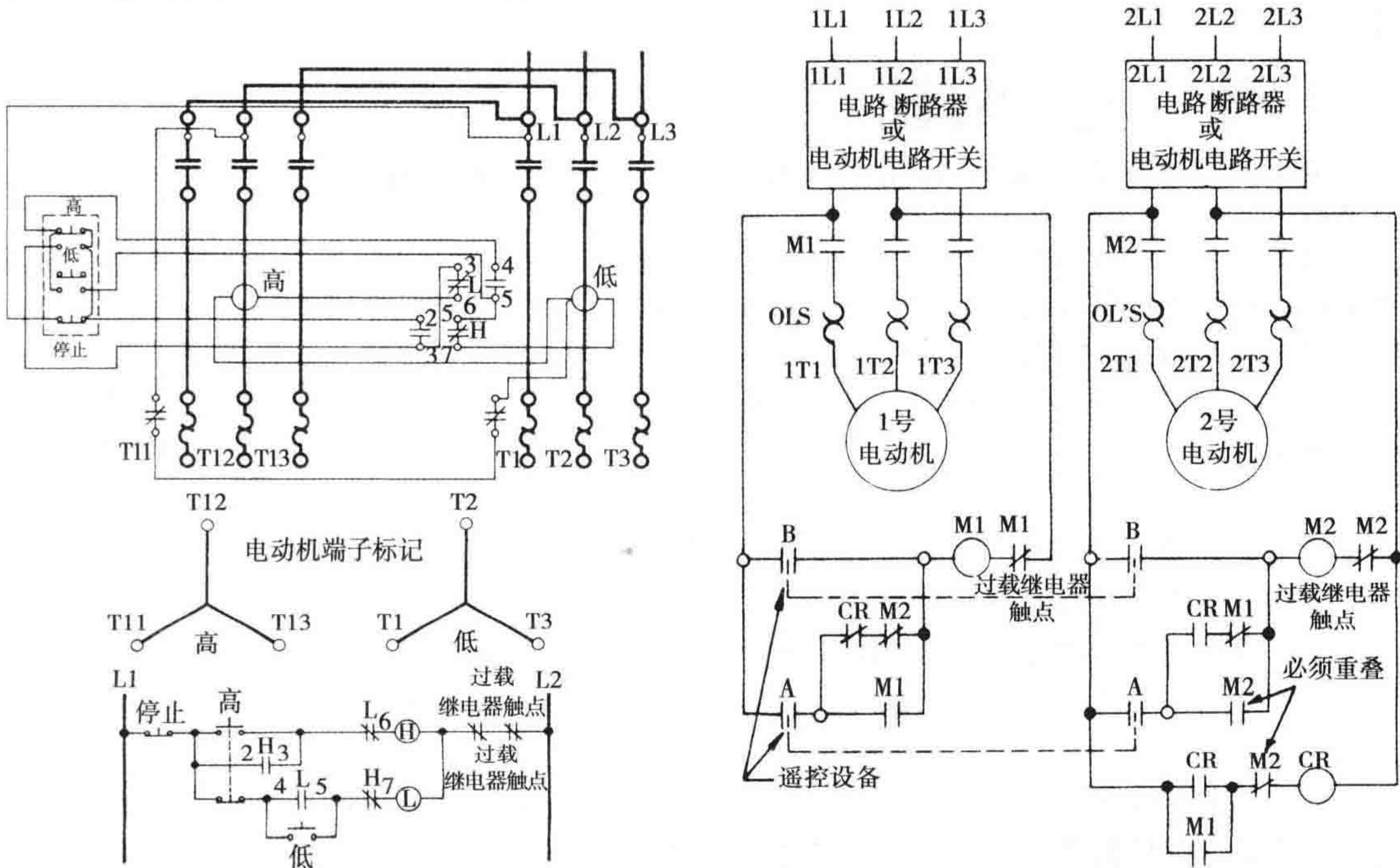


图 16-9 双速独立绕组的电动机起动器 (Allen-Bradley 产品) 图 16-10 交流双电动机控制器 (Square D 产品)



两个控制设备必须是双极的，但是如果两台电动机仅需要交替运行，而不需要同时运行时，则 B 可以省略。如果一台电动机正在运行，而其隔离开关被断开，那么过载继电器将会跳闸，或者起动器由于某种原因失电，另一台电动机将自动起动。

16.5 中压控制器

中压通常是指 2200~7200V 之间的电压。由于电压较高，所以需要保护在设备周围工作的人员。为了控制这些大功率的电动机，用到了许多装置，所以需要有一个较大的机柜来容纳所有的装置。图 16-11 所示为两个控制器的机壳。A 部分用于放置笼型、减压、单向电抗器控制器，B 部分用于放置同步减压、单向自耦变压器与电抗器控制器。

当全压起动转矩与其产生的起动电流可以接受时，可以使用全压控制器。一个高架构的机柜可以为每一个控制器提供完全隔离的空间，并能给增加的备用电源以及控制装置提供空间。图 16-12 给出了笼型全压单向电动机是如何控制的。注意观察用于限流的 3 个熔断器、3 个电流互感器以及由二极管组成的桥式电路。

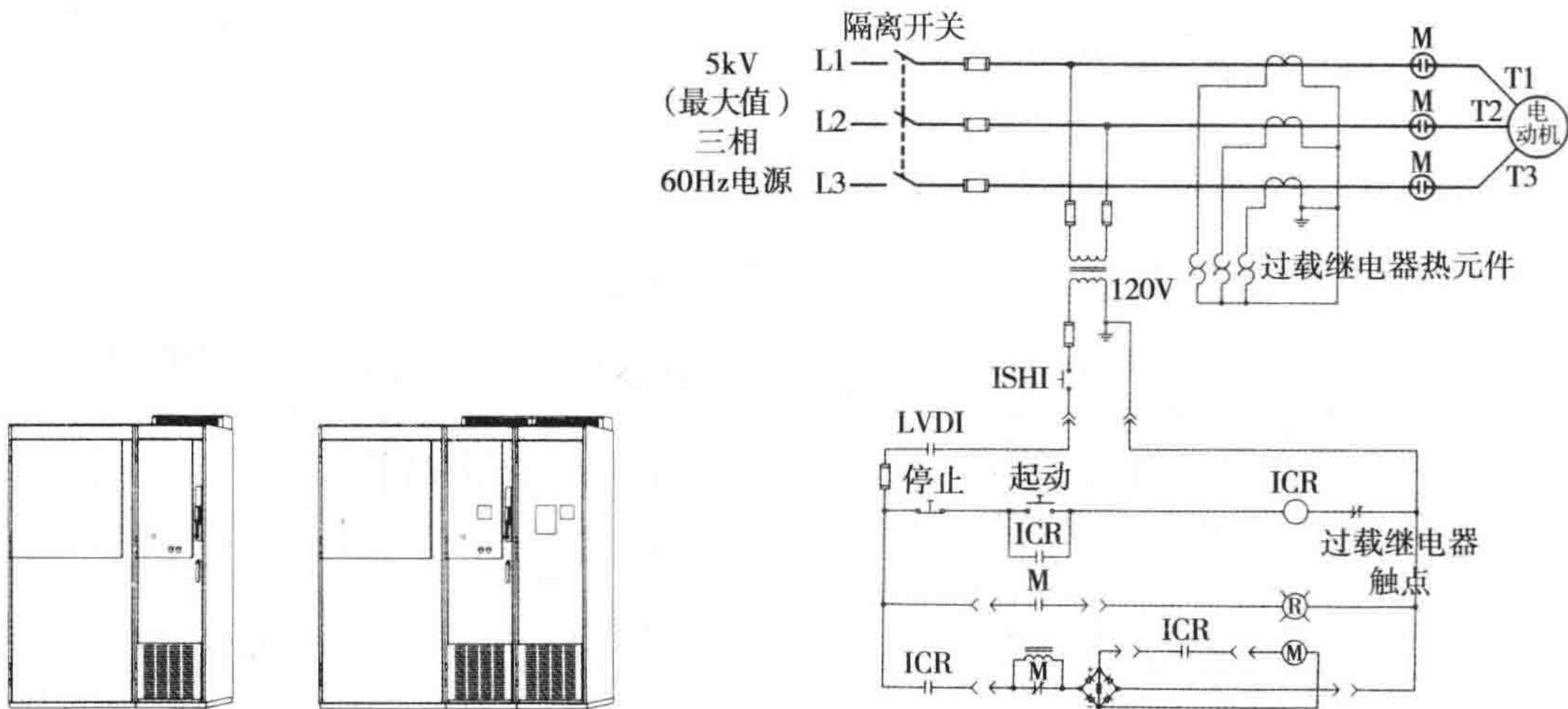


图 16-11 中压控制器 (Square D 产品)      图 16-12 笼型全压单向电动机控制器 (Square D 产品)

图 16-13 表示一个馈线隔离开关电路。馈线隔离开关控制器利用机械固定的接触器，当有功率损耗时其触点保持闭合。触点通过手动跳闸按钮，或可选的螺线管断开。具有真空断路器或空气断路器的馈线隔离开关控制器都是可以使用的，其设计可以是螺栓连接式也可以是抽屉式的。这些控制器用来频繁地断开变压器，在传输方案中可代替金属外壳的断路器或隔离开关。

一种全压笼型双向控制器如图 16-14 所示。这些控制器可以控制电动机的正转与反转，这里的最大起动转矩与其产生的起动冲击电流对电动机而言是可以接受的。双向控制器可与真空断路器或空气断路器一起使用。

带有自耦变压器的笼型电动机减压起动控制器的结构如图 16-15 所示。这种控制器可提供最大转矩与最小线电流，它带有多个抽头用于调整转矩与线电流，真空断路器或空气断路器均可使用。

图 16-16 所示为笼型减压一次电抗电动机控制器，这种控制器可以实现低冲击电流和低电压波动的电动机起动。同步全压单向电动机控制器用于需要恒速电动机或功率因数需要补偿的场合。典型的工业应用有：纸浆造纸厂、木材厂、橡胶厂、金属轧制厂、空气压缩机、











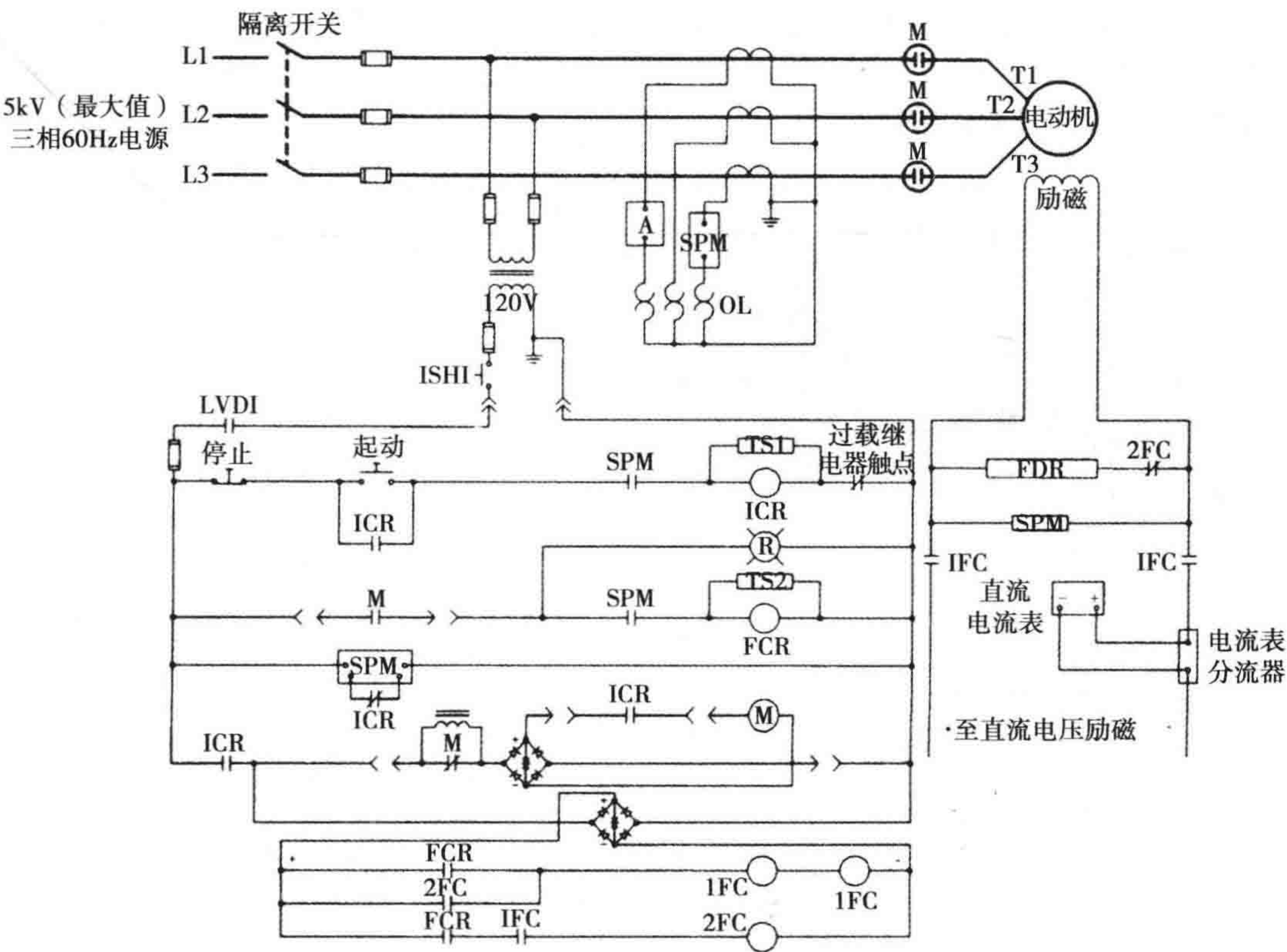


图 16-17 同步全压单向电动机控制器 (Square D 产品)

图 16-18 所示的控制器带有一个无刷励磁控制器，包括一个不完整的顺序继电器、给励磁磁场供电的带有碳化硅保护器的直流电源和用于励磁调节的调压变压器、失磁保护以及失步保护。

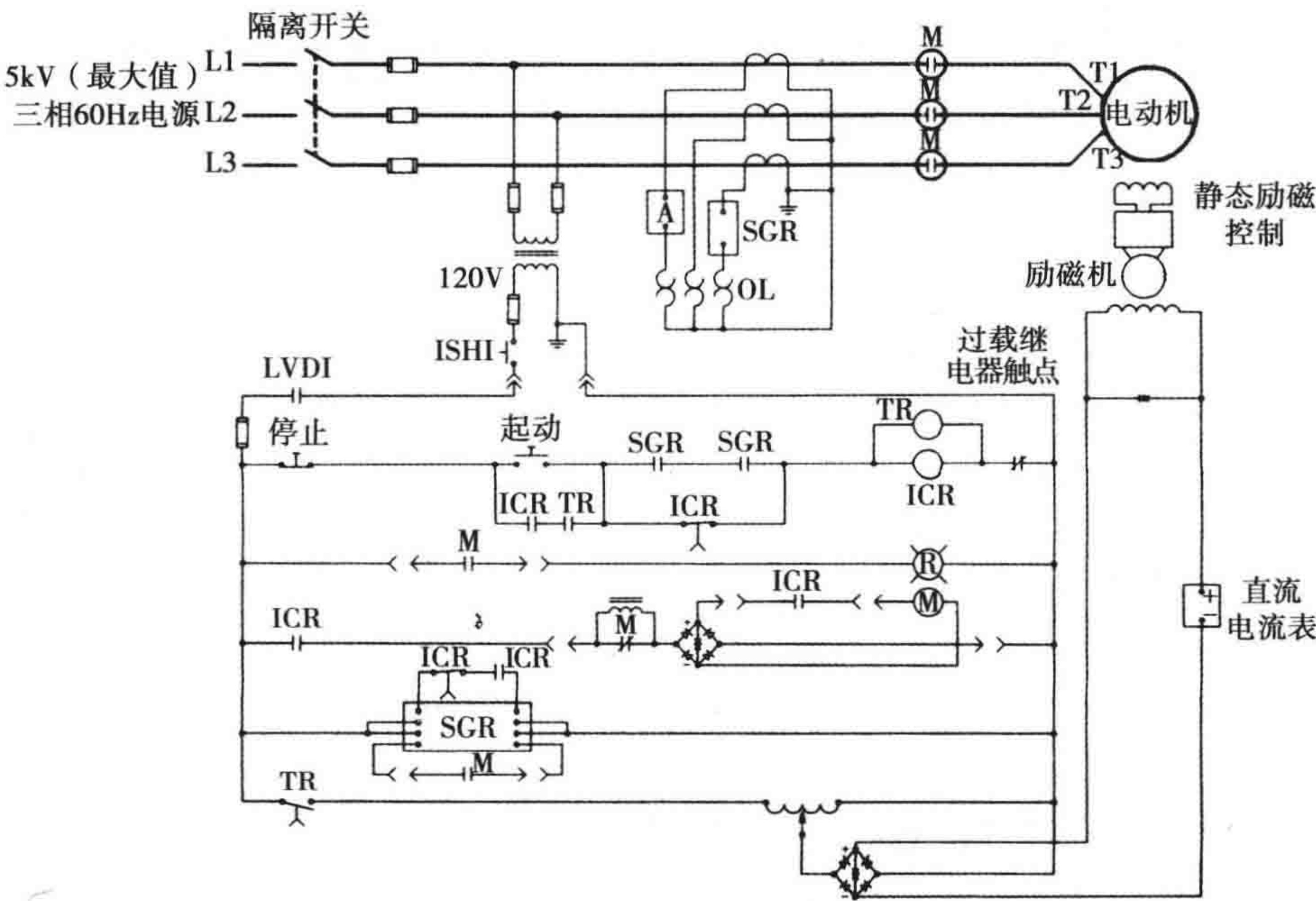


图 16-18 同步无刷全压电动机控制器 (Square D 产品)







## 16.6 固态电动机控制器

Allen-Bradley 公司制造的“公告 2050”控制器可让笼型电动机限流（转矩）起动，这些电动机的额定功率应在 30~1200hp 之间，电源为 208~575V 的 50/60Hz 交流电。这些控制器可应用于传送带、水泵、压缩机以及其他各种负载中，这些负载起动时要求振动最小，加速要平滑且连续（见图 16-21）。它可提供 3 种加速模式：电流斜坡加速、恒定电流加速以及线性时间加速。

**电流斜坡加速** 这种方式应用最为普遍。加速过程中，较小的初始电流逐渐增加到起动电流的限定值。通过调整加速斜坡的时间，也就是电流增加的速率，可实现平滑起动与最佳操作。大多数情况不需要进行其他调整。

**恒定电流加速** 这是电流斜坡加速方法的一种改进，主要在一些要求限定起动电流的地方应用。加速斜坡的时间设置为最小，按照起动电流的限定条件来调整起动限流值。

**线性时间加速** 对于一些要求控制加速时间或加速线性速率的应用场合，可将控制器设置为线性时间加速。电动机上会安装一个转速计，用于提供反馈信号，控制器利用这个信号，根据加速斜坡电位计的设置要求，按照时间为电动机线性加速。



图 16-21 固态电动机控制器（Allen-Bradley 产品）

### 16.6.1 模块

控制器由多个模块组成。电源模块包括 3 个电力接线端子组件，每个电力接线端子都有单螺栓线夹的背靠背晶闸管。3 个电力接线端子共享一个散热基座与冷却风扇。从图 16-22 中可以看到组合控制器的框图，有星号标记的内容为选项。

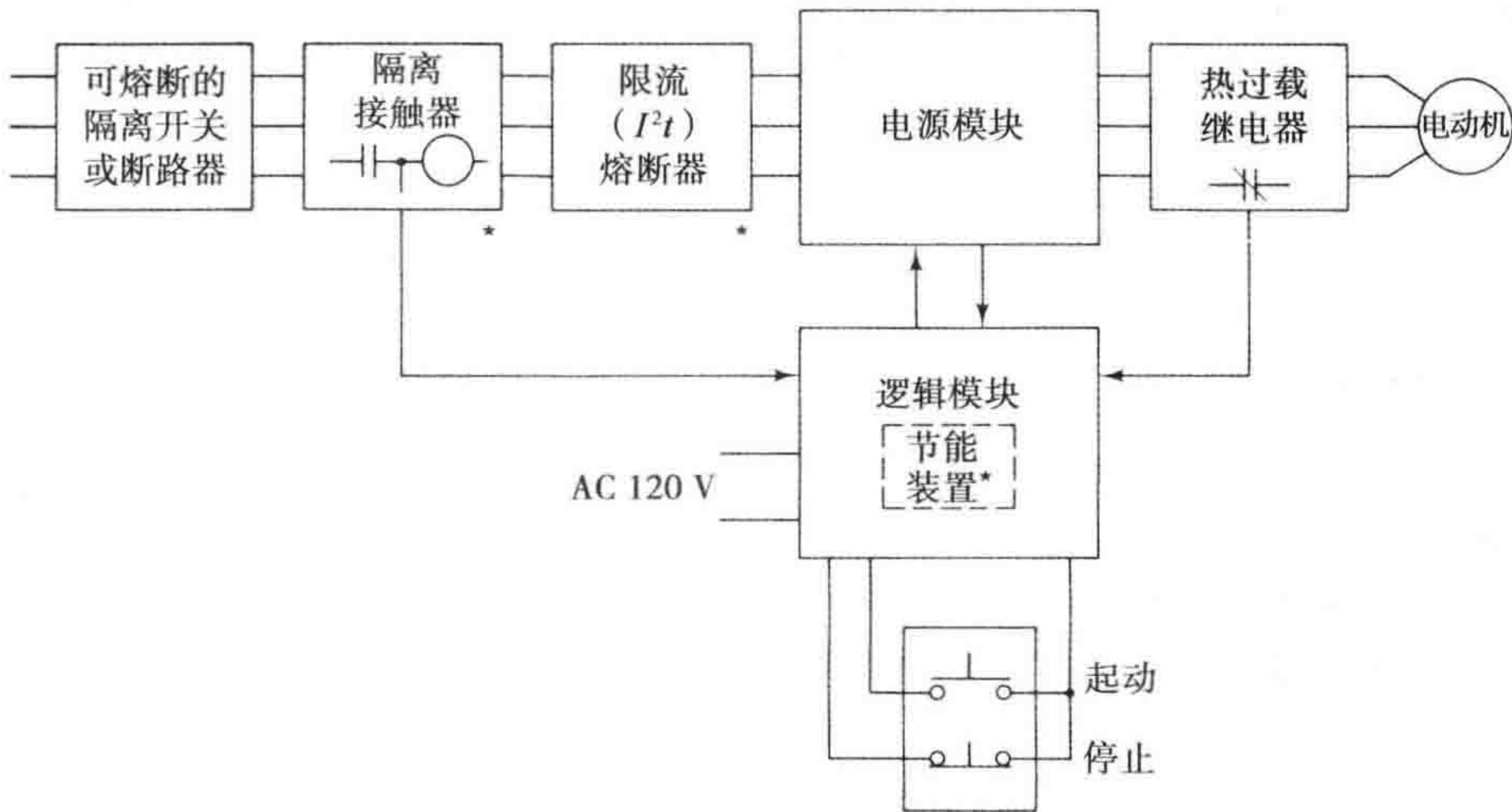


图 16-22 带星号标记的组合控制器框图（Allen-Bradley 产品）

逻辑模块既可安装在电源模块的前面，又可单独安装。外部特征包括 LED 诊断指示灯、连接控制装置的接线板以及加速斜坡调整电位计。

节能模块是可选的，它通过减少电动机的功率损耗可以降低运行成本。一些特定的应用



场合，如长时间空载运行的电动机推荐使用节能模块。节能模块可安装在逻辑模块中。

### 16.6.2 固态控制器的优势

与机电控制器相比，固态控制器具有几大优势，主要优势在于它的维护方面。由于固态控制器没有触点类的活动部件，因此不太需要清洁与调整。固态控制器可以结合电压调整、暂态抑制和缓冲电路来抵抗温度与电压的变化。它也可以并入 SCR 短路以及断相保护电路中。反相检测与错误起动顺序的保护也可能具有。也可设计过电流保护以应对多种运行模式。

## 16.7 电动机控制中心

随着工艺技术变得越来越复杂，对综合控制装置的需求也就越来越大了。整合所有的控制装置与电源装置为一个集中封装包的明显好处是：可以预制组件，可以事先接好线，并在交付前彻底检测，从而节省了安装与检测时间。

电动机控制中心有多种工业与商业用途，如纸浆造纸厂、锯木厂、建筑材料、食品加工厂、罐头厂、废水处理厂、煤矿散装搬运、化工厂以及油气生产等。这里仅略举数例，换句话说，在用到三相电动机的地方，就能用到电动机控制中心（见图 16-23）。

图 16-23 所示的控制中心内部有一个额定电压为 600V 的三相母线网络，该网络给多种垂直分布的分区进行配电。主水平母线位于分区的中心，这使得散热与配电性能更佳，主母线从最底层进入，使得维护更容易、更安全。中心馈电额定电流为 300A 的垂直母线向水平母线上下的独立装置供电，有效容量为 600A，实际上可提供给不受限制的单元布置。

不同规格与额定值的装置具有不同的复杂程度，要根据电动机的功率、电压以及特别的控制要求来使用。标准装置可用于基本起动 - 停止 - 反转、多转速以及减压起动等应用场合中。电动机控制中心不仅可用在封装基本控制装置中，也可用在封装固态技术装置中。

可编程序控制器、变频驱动器、固态减压起动器以及固态保护装置可以代表融入了现代电动机控制中心的一类技术。

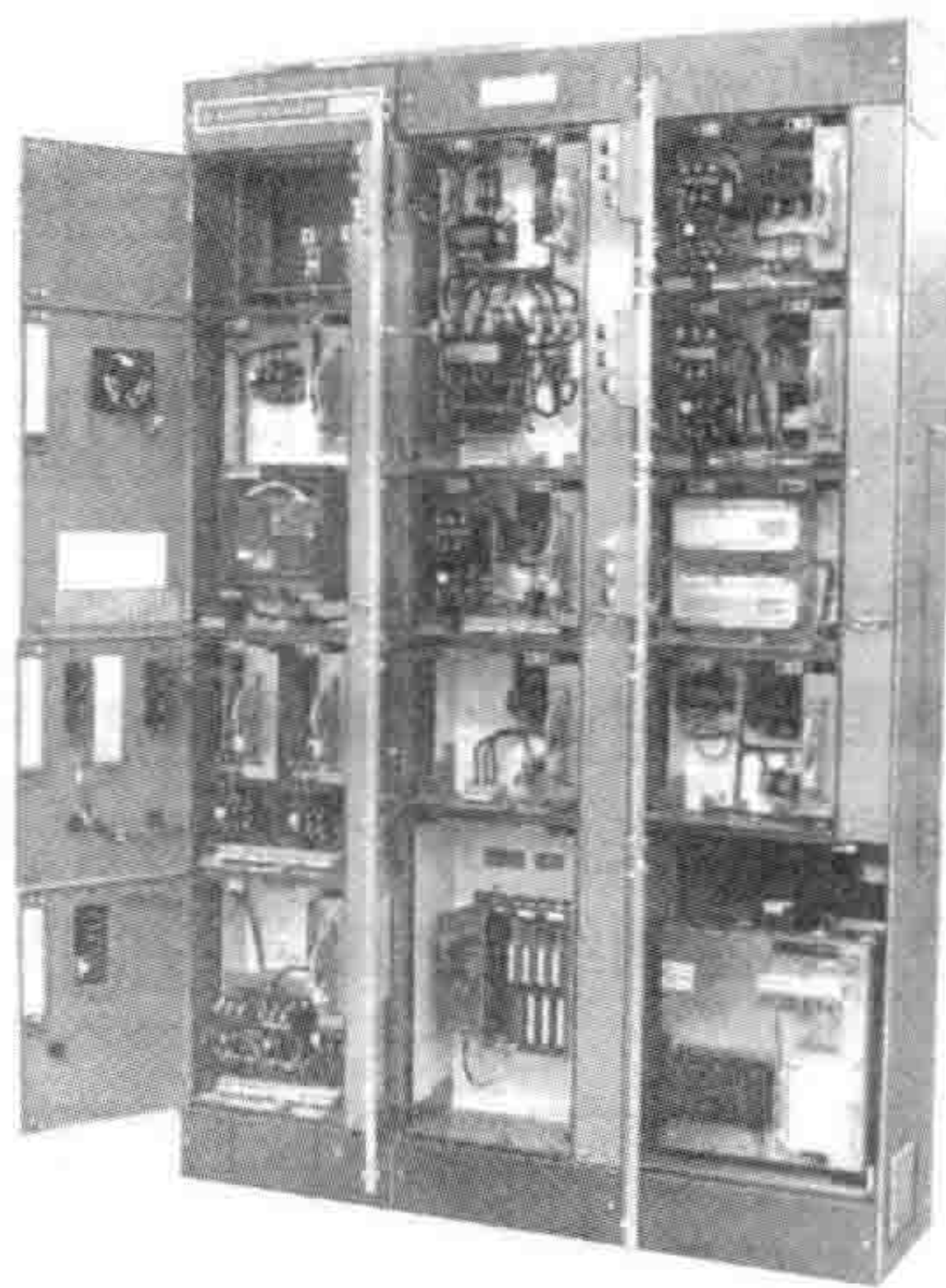


图 16-23 电动机控制中心（Allen-Bradley 产品）

## 16.8 思考题

1. 什么场合会用到绕线式电动机？
2. 同步电动机的功率范围是多少？
3. 电动机点动时为何不能自锁？
4. 何时使用全压控制器？
5. 哪里会用到一次电抗同步电动机控制器？
6. 加速斜坡是什么含义？
7. 何时推荐使用节能装置？
8. 电动机控制中心的用处是什么？
9. 最简单的三相起动器是什么？
10. 若想使电动机反转，要调换哪些接线？



# 第 17 章

## 驱 动 器

### 17.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 描述交流变频驱动器。
2. 分辨逆变器的 3 种主要类型。
3. 当频率与极数已知时，计算转速。
4. 描述调压逆变器。
5. 解释脉冲宽度调制逆变器的工作原理。
6. 描述涡流驱动器的工作原理。
7. 解释开环控制器的工作原理。
8. 解释闭环控制器的工作原理。
9. 列举直流驱动器的优缺点。
10. 描述固态数字式交流驱动器的优点。

工业生产一直在努力寻找更好的控制器，以提高生产率、减少能源成本。这一情况即将结束，因为电子技术已逐渐成熟，可以生产出想要的装置。然而，许多机电装置仍在使用并将继续使用多年。本章将讨论两大领域——机电装置与电子装置。

在美国能量转换主要是依靠交流感应电动机来完成的，工业、商业与家中都可以看到它们。没有了交流感应电动机，我们的生活将无法想象。交流感应电动机是将电能转化为另一种可用能源的主要转换器。为此，生产出的约 2/3 电能要供给电动机。

### 17.2 风扇、鼓风机与水泵

驱动风扇、鼓风机与水泵的交流电动机在运行时会消耗大量电能。据估算，目前使用中的电动机约有 50% 都属于此类负载。风扇、鼓风机与水泵在节能方面的前景引人关注。最近，几种控制风扇与水泵的方式都得到了改进，这表明使用节能方法的优势已经超过了传统方法。

风扇是根据最大负载设计的。然而，风扇不会一直运行在最大负载状态，就是说，如果电动机的速度可根据负载需求而改变，那么就可以使用节能装置。大多数情况下，风扇的出口挡板与水泵的节流阀控制输出。然而，这些控制装置都不会提高水泵或风扇的运行效率。我们需要一个控制方法，以适应风扇与水泵的多种需要，而且又不会降低系统的效率。比较新的方法包括风扇或水泵的直接变速控制，这种方法与现有方法相比能更有效率地控制流量。

另外，变频驱动器比其他形式的变速控制具有更加明显的优势。如图 17-1 所示，通过改变风扇的速度或实际转速，从而改变风扇性能，形成不同的气流。



17.3 调速驱动器

几种类型的调速驱动器可用于风扇的控制，包括变间距皮带驱动器、涡流驱动器、直流驱动器以及变频驱动器。

17.4 交流变频驱动器

变频驱动器通常称为逆变器，功率范围从不足 1hp 到 1000hp (1hp=746W)，可以用来控制标准感应电动机，这使它们可以很方便地加到已有的系统中。由于电动机可能已经安装好，所以逆变器常常单独销售 (见图 17-2)。

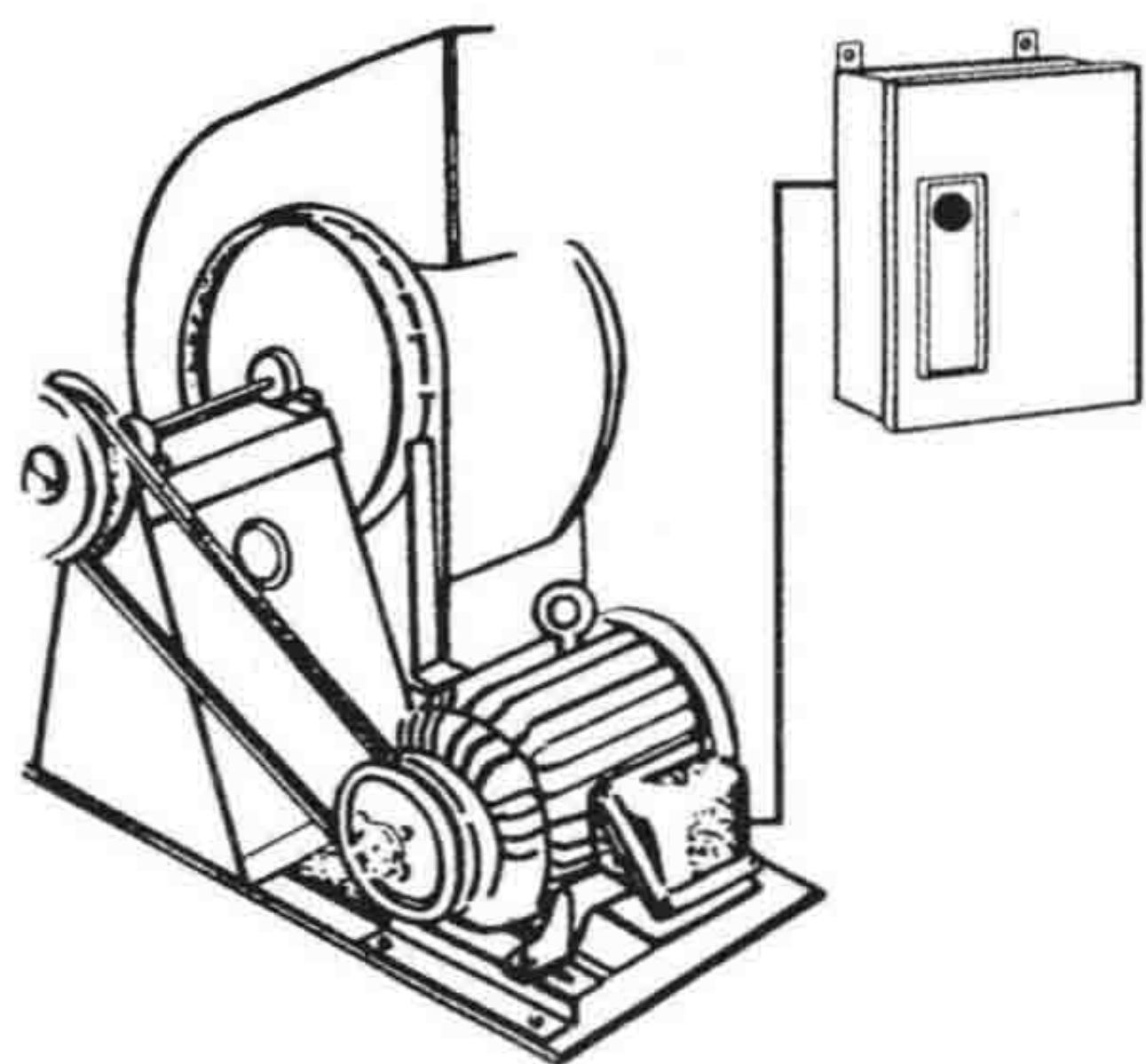


图 17-1 改变风扇转速的调速驱动器 (Allen-Bradley 产品)

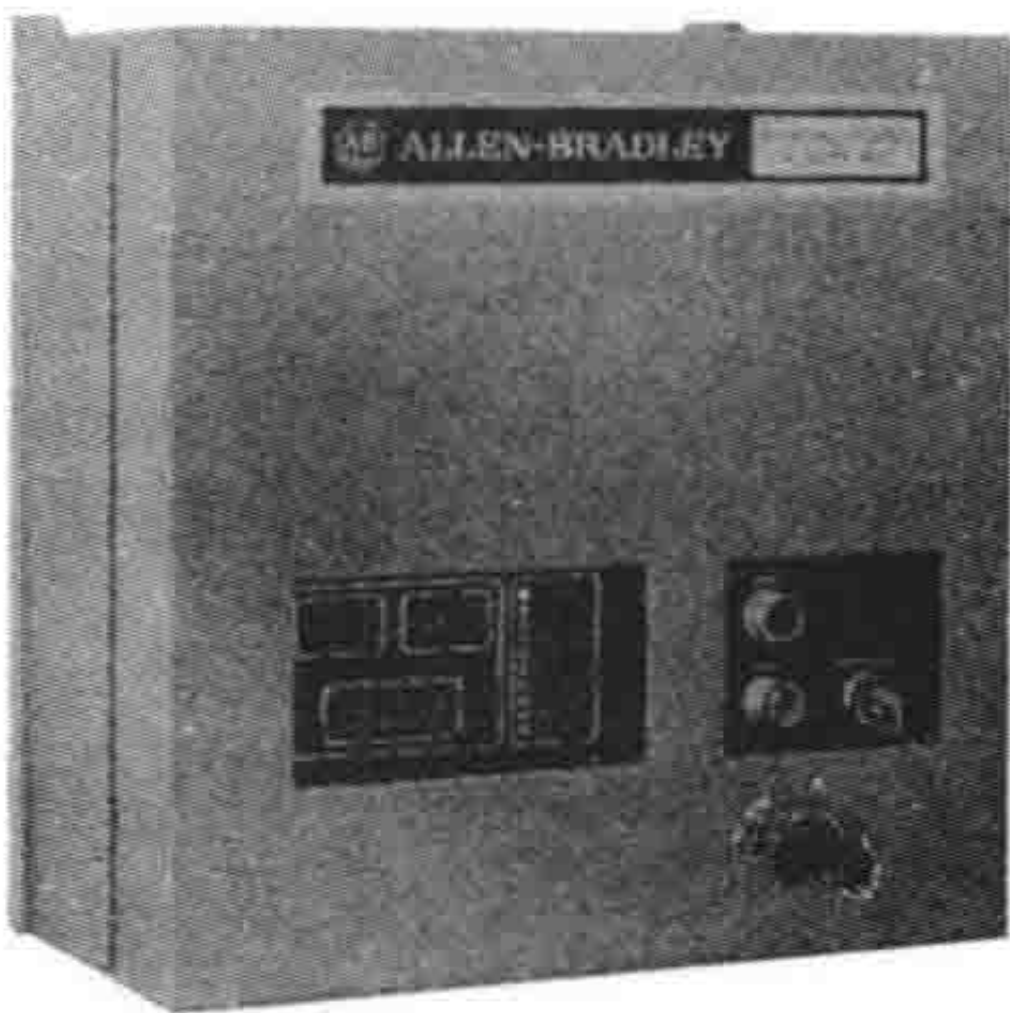


图 17-2 工业交流驱动器 (Allen-Bradley 产品)

基本的驱动器仅包括逆变器本身，它可将 60Hz 的交流电转化成可变频率与可变电压的交流电。需要通过变频来控制电动机的速度。目前使用的有 3 大类逆变器：电流源逆变器 (CSI)、调压逆变器 (VVI) 以及脉宽调制逆变器 (PWM)。

请记住，交流电动机的转速 (r/min) 是频率 (Hz) 与极数的函数：

$$\text{转速} = \frac{120 \times \text{频率}}{\text{极数}}$$

由公式可确定，同步电动机将运行在同步转速。在同步电动机的失步转矩范围内，负载的变化不会引起转速变化。感应电动机的速度 - 转矩特征如图 17-3 所示。电动机的输出由负载决定，传送带类的摩擦型负载需要驱动电动机产生恒定转矩；某些机床需要恒定功率；大多风扇与鼓风机需要变转矩。总体来说，使用恒定电压 / 频率的电源来供电，标准交流电动机可以在变速范围内产生恒定转矩，通过整流器的调整可实现这种供电方式 (见图 17-4)。

整流器与逆变器是两类不同的设备。整流器将交流电变为直流电，而逆变器将直流电变为交流电。实际使用中，当逆变器将直流变回交流时，交流电的频率会发生变化。当再次变为交流电以进行频率控制时，波形可能会发生变化。

17.5 电流源逆变器

电流源逆变器 (CSI) 控制流向电动机的电流。电动机的实际转速可通过其他电路测量出来，然后与参考速度进行比较，其差值决定流向电动机的电流是变大还是变小。把输出开关设备 [通常是晶闸管 (SCR)] 转换到所需的频率以“控制”流向电动机的电流。电流源逆变器的功率范围很广，但大多时候其功率不小于 50hp。



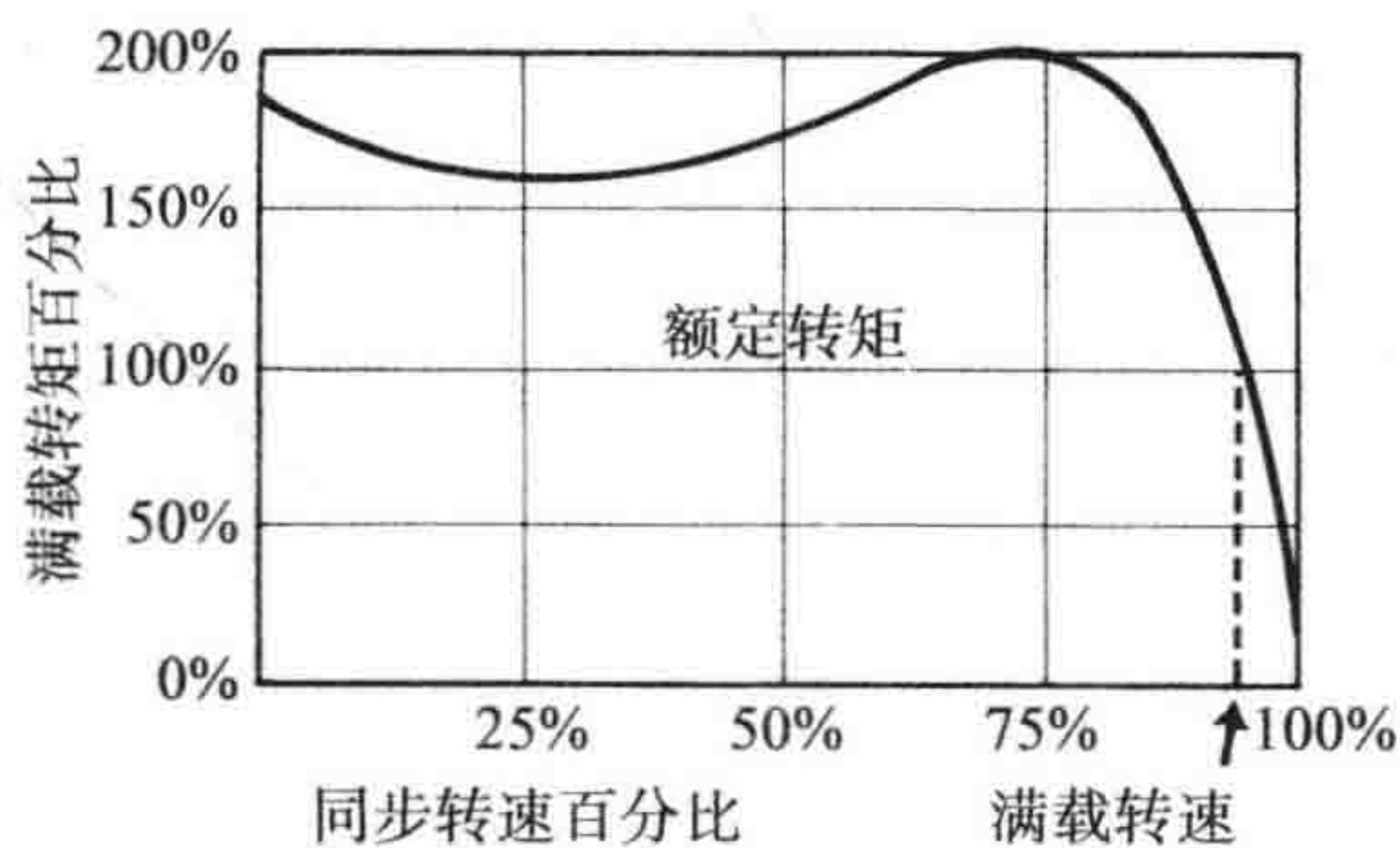


图 17-3 同步电动机速度 - 转矩曲线

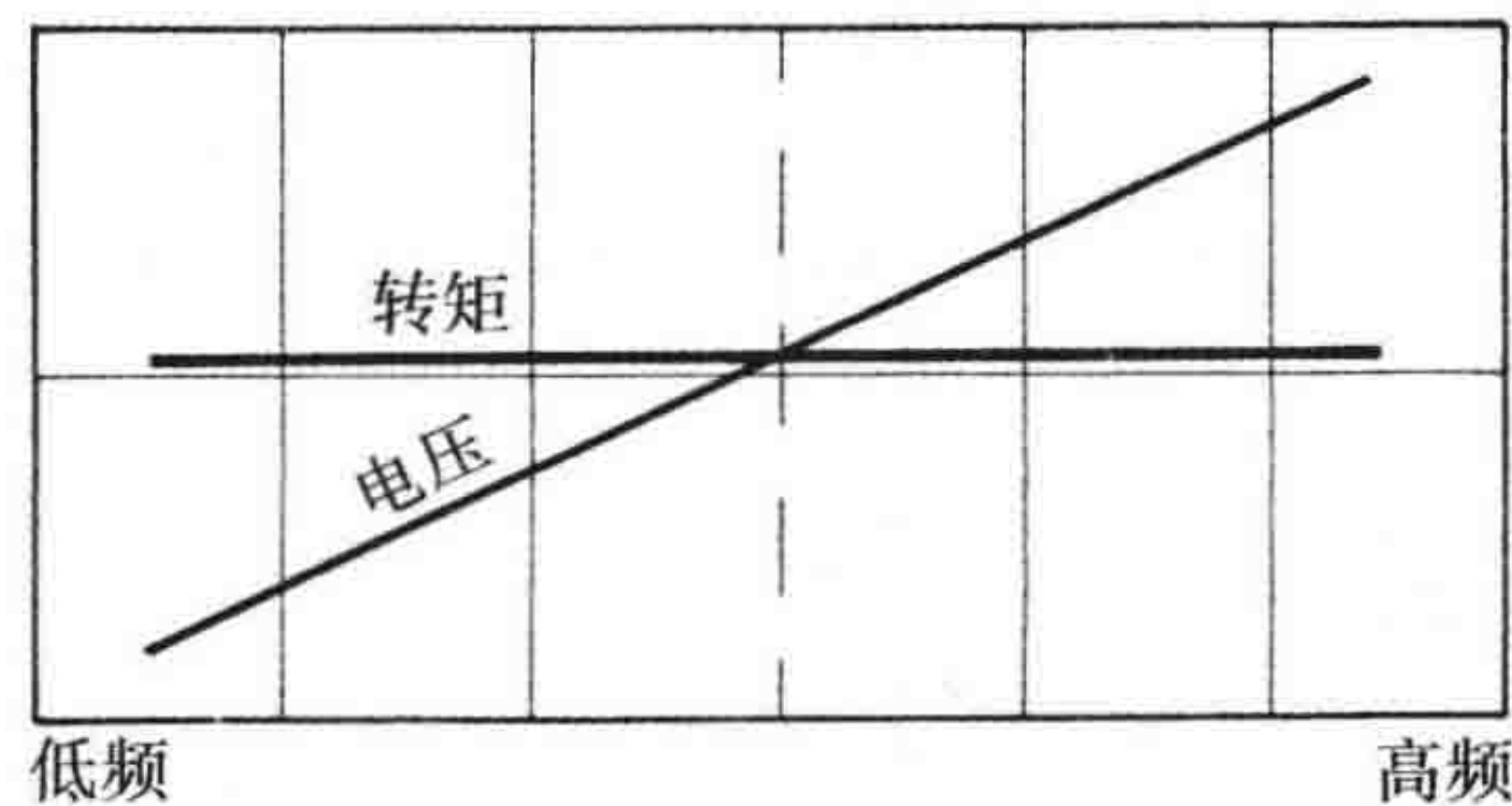


图 17-4 交流电动机的工作曲线

此类逆变器可用于标准感应电动机中，实用性高，极其可靠，维护方便。若逆变器出现故障，电动机可以直接跨接在电源进线上继续运行。一些应用中高惯性负载的加速会导致过载现象，逆变器可以调整其运行状态以避免过载。电流控制器会限制故障电流，使在主要故障或过载情况下损失最小化。为了调节速度，逆变器可能需要转速计反馈速度。转速计是必须要加装的，因为它并不是感应电动机的标准件。若驱动器在工作时丢失了转速计反馈信号，那么有可能失控运行至全速。逆变器需要与电动机的电气特性相匹配，而且还应对这些特性敏感，如果目前使用的电动机被其他型号或尺寸的电动机代替，就可能发生操作错误。

无论在什么情况下，都要求逆变器能连接电动机来运行。逆变器如果不与电动机连接，那么它就不能运行或被检测到。逆变器利用相位控制整流器来控制电流。此方法使电动机在低速运行时功率因数较低。

逆变器主要部件的尺寸常常使逆变器成为驱动器总尺寸中最大的部分。所有供电系统的电能都会经过逆变器进行转换，因此，一定要使用大功率器件。

### 17.6 调压逆变器

调压逆变器（VVI）可控制电动机的输入电压与频率，以实现电动机的变速运行。此类逆变器与 PWM 逆变器之间明显的区别就是控制电压的方法。调压逆变器的电压控制部分与用于产生变频输出的控制部分相互独立。电压控制通常是利用逆变器输入侧相位控制的输入桥式整流电路来完成的；频率控制则由一个输出桥式电路完成，该电路控制电动机的电压在期望的频率上。这些驱动器的功率范围从不足 1hp 到 500hp。

标准的感应电动机实用性高、性能可靠、易于修理，可与调压逆变器一同使用。电动机满载全速运行时，逆变器效率可达 90%。若逆变器发生故障，电动机可以直接在跨接在电源进线上继续运行。一些应用中高惯性负载的加速会导致过载现象，逆变器可以调整其运行状态以避免过载。

这类逆变器的安装很简单，只需向电动机引入 3 根电源线，无须使用转速计反馈，驱动器可放置在距离受控电动机很远的地方。驱动器即使不与电动机连接，也可被检测到或进行操作。一台逆变器可控制多台电动机。而且逆变器对电动机组合的改变并不敏感，只要总负载电流并未超过逆变器的额定电流即可。

调压逆变器也有一些缺点。逆变器系统的初始成本较高，而且电动机所用的电都要通过逆变器转化，这就需要逆变器具有大功率元器件，所以逆变器会有大量复杂的电路，需要熟练的技师来维护。

### 17.7 脉宽调制逆变器

脉宽调制（PWM）逆变器在驱动器的输出区域内实现频率控制与电压控制。输出电压通



常具有恒定幅值，通过斩波或脉宽调制，可控制平均电压，如图 17-5 所示。这些驱动器的功率范围为 1~1000hp。

此类逆变器的一些特点使它们可用于感应电动机的控制，其运行效率很高，在满载全速运行时，其效率可达 90%。使用二极管桥式整流器对输入电流整流，在逆变器的全部运行速度范围内，可得到理想的功率因数（见图 17-6）。

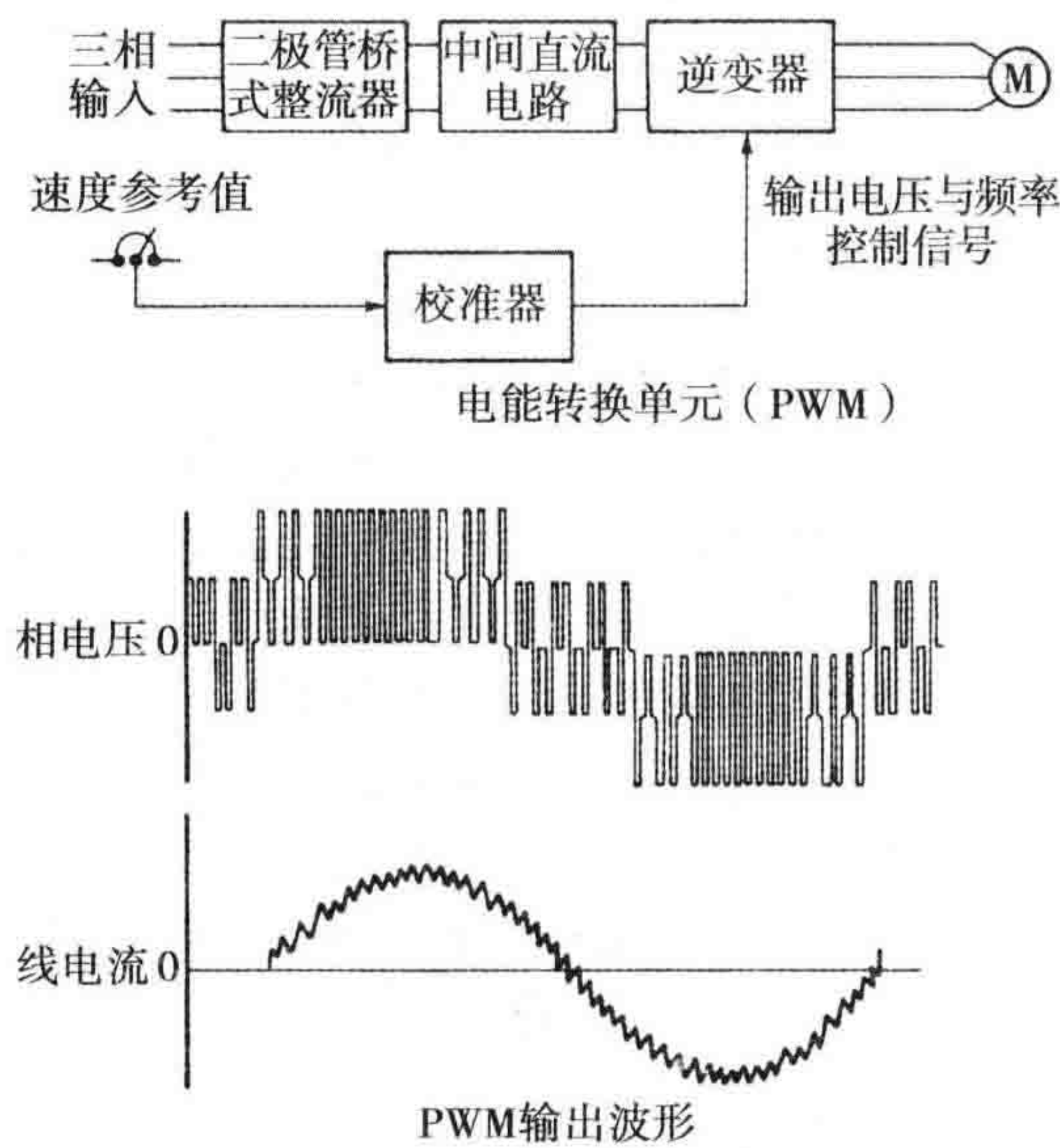


图 17-5 PWM 波形 (Allen-Bradley 产品)

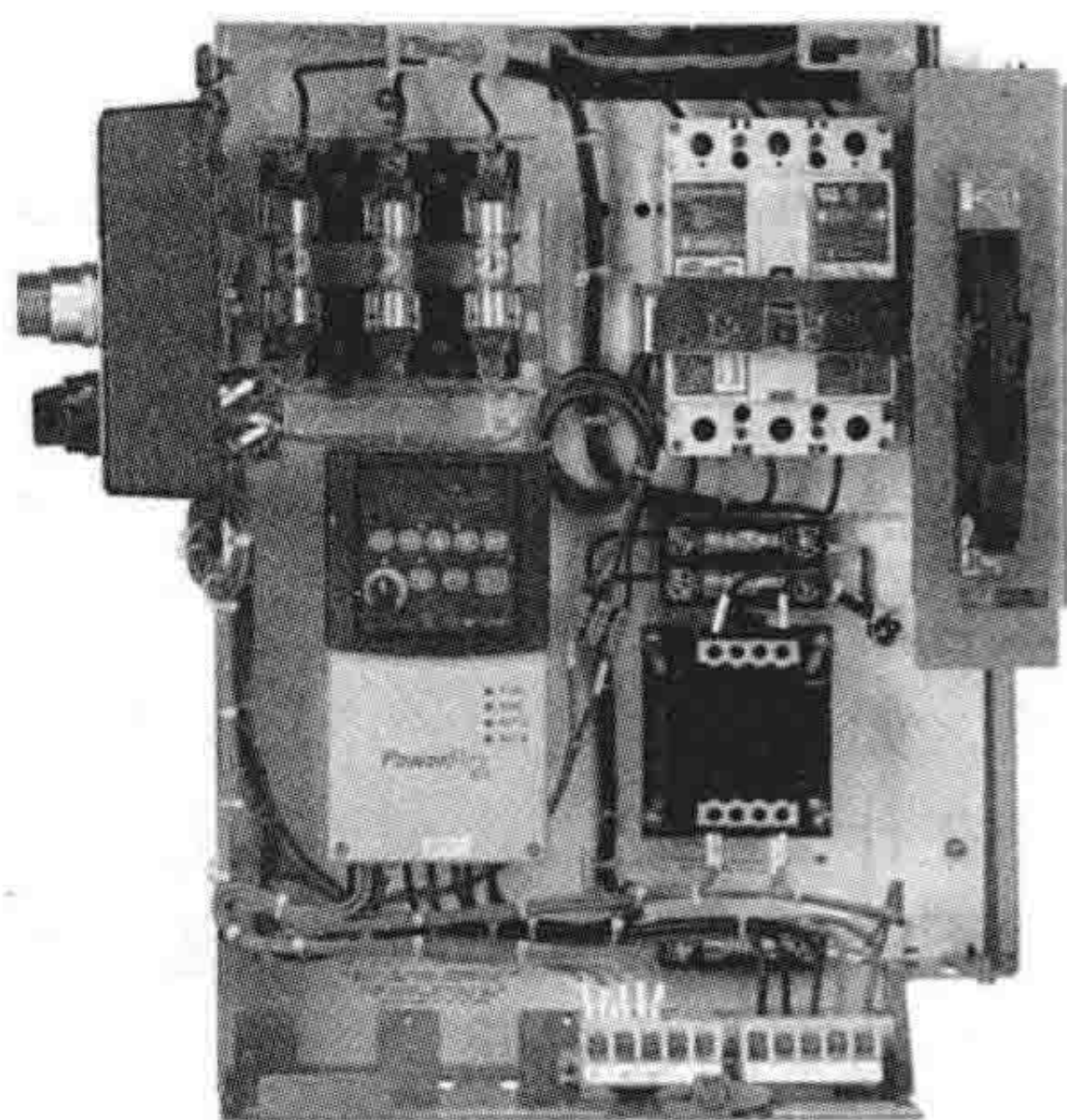


图 17-6 PWM 驱动器 (Allen-Bradley 产品)

把控制功能与逻辑功能整合到一个大规模集成电路芯片上。这个芯片大约有 6300 个晶体管来完成复杂的逻辑功能与控制功能。使用此芯片会减少所需的电气连接，简化了驱动器结构，从而提高了可靠性与质量。

如果逆变器发生故障，电动机可以直接跨接在电源进线上继续运行。一些应用中高惯性负载的加速会导致过载现象，逆变器可以调整其运行状态以避免过载，无需转速计，所以只有三条线需要连接。控制器可对电动机进行远程操作。

不连接电动机即可检测到驱动器。一台逆变器可控制多台电动机，而且逆变器对电动机组合的改变并不敏感，只要总负载电流并未超过逆变器的额定电流即可。

这类调压逆变器也有一些缺点。逆变器系统的初始成本很高，而电动机所用的电都要通过逆变器进行转化，这就需要逆变器使用大功率元器件。

逆变器具有大量复杂的电路，所以需要熟练的技师来维护。使用大规模集成电路与微处理器电路让逆变器可以自我诊断，这在检修故障时大有帮助。印制电路板的替换可以由一些没有相关技术的人来完成。

17.8 涡流驱动器

涡流驱动器包括机械型与电子型两类，机械型包括涡流离合器与感应电动机。电动机恒速运行，驱动离合器。通过控制离合器的励磁，可以调节电动机的转差，并改变输出速度。若励磁增强，输出速度会增加，接近电动机转速。若励磁减弱，输出速度会减少直至为零。离合器的励磁与负载需求的平衡，可以使输出速度维持在给定值。

涡流是磁场发生变化时，铁心中产生的小电流，它会产生热量。涡流的方向与感应出涡



流的线圈中的电流方向相反，其作用是抑制线圈中电流的流动。涡流可通过叠片工艺抑制。叠片工艺是指通过使用几层材料叠加制作一个物体。应用叠片工艺时，每一个叠片都要涂上绝缘漆，这使每层叠片之间相互绝缘，以此抑制涡流的增加。涡流消耗能量却不做功，所以一定要尽可能地减小电动机与变压器中的涡流。通过改变涡流驱动器中离合器的励磁，可以相应地改变涡流。

离合器励磁受控于涡流控制器。涡流控制器使用高增益放大器与闭环转速控制回路，以检测对离合器励磁的需求。机械装置部分有安装在输出轴上的转速计传感器，它为控制器提供转速反馈。驱动器若没有此类反馈就不能控制转速。

涡流驱动器可与感应电动机组成成套机组，或者仅作为涡流联轴器连接到感应电动机上。也有特别的设计可用于立式泵中。驱动器的功率范围从几马力到几千马力，只要离合器足够大即可。

涡流驱动器的优势与良好特性是初期成本通常比变频驱动器低，其控制器比其他驱动器的控制器要小很多。该系统仅需要使用系统的总电量的 10% 或更少电量，其控制电路不像其他系统的控制电路那样精细与复杂。涡流联轴器与控制器响应良好，当有高惯性负载时没有过载现象。

然而，此类驱动器也有一些缺点。涡流离合器不是一般的设备，不能现场维修甚至本地维修；特殊的离合器不允许电动机直接带负载运行；若需要维修机械装置或控制器，系统就要停止运行。

系统的效率随着转速的降低而降低，这是因为离合器的转差控制输出转速。转速计反馈对于维持速度控制是必需的。若速度反馈失控，驱动器将全速运行。涡流离合器的品牌包括 Louis-Allis 的 Adjusto Speed 与 GE 公司的 Kinatrol。

## 17.9 变距驱动器

变距驱动器是借助传送带与可变螺距滑轮来改变电动机转速的一种控制方法，动力源是标准的感应电动机。通常，这些装置都是封闭的，内置一个齿轮减速装置来控制减速范围。功率范围通常限定在 5~50hp 之间，在此范围外很少可以使用。

然而，此类控制器的成本是需要考虑的重要因素。这些系统是实现调速所需成本最低的方法。其工作原理众所周知且易于理解，结构也很简单。

变距驱动器最大的缺点在于遥控装置。这不是它固有的特征，这是因为其利用机械方式来改变转速。电子控制信号需要调整以适应机械控制器。变速操作在传送带上产生的压力需要定期检查，传送带有时也需要更换。高惯性负载可能会出现一些问题，它需要超大型驱动器或定制的电动机。为避免电动机过载，需要特别的起动或关机过程。长时间恒速运行可能导致滑轮出现切槽，这会削弱转速控制并降低传送带寿命。

## 17.10 绕线式交流电动机驱动器

绕线式交流电动机驱动器是利用一个特殊构造的电动机实现转速控制的。电动机转子绕组通过电动机轴上的集电环引出电动机。绕组与控制器相连，而可变电阻器与绕组串联。可变电阻器使电动机的转矩特性可控。绕线式电动机最常见的功率范围是不低于 300hp。

此类驱动器的优点是对于高功率的装置来说初始成本适中；并非所有的功率需求都受控，这使其控制器尺寸适中、构造简单。该电动机及控制器简单的构造有助于维护，不需要高水平的培训。此类电动机带高惯性负载时也工作良好。

然而，此类驱动器也有一些需要考虑的缺点，如电动机需要安装集电环，而且不是现



成的；低转速运行时效率降低；驱动器的变速比通常限定为 2:1；带风扇类负载运行时，转速调节效果很差。

### 17.11 直流驱动器

直流驱动器技术是电气转速控制使用最早的形式，其驱动系统由直流电动机与控制器组成，而电动机包括电枢绕组与励磁绕组。这两个绕组在直流激励下电动机才会运行。通常，励磁绕组受控制器的恒定电压所激励。

### 17.12 调速驱动器

直流电动机有多种控制转速的方法，最简单的方法之一是利用变阻器。变阻器的有效转速控制范围约 4:1，对于负载、转矩以及线电压的变化，使用此方式电动机速度的控制很差。由于变阻器有电能消耗，所以此类控制方法效率极低。

带整流器的调压变压器是另一种方法，与变阻器控制的方式相比，转速控制有所改进，可在更大的转速范围（高达 10:1）内运行直流电动机。同时，它也比变阻器的效率高。

晶闸管（SCR）控制器可以半波运行，具有与调压变压器控制器类似的特点。带全波整流的晶闸管系统在与电阻压降补偿技术（即伪闭环电流传感技术）一同使用时，变速比的范围可达 20:1。

若转速计用于反馈，则晶闸管电路就可以实现真正的闭环反馈控制。全波或三相晶闸管控制器可实现高达 100:1 的变速范围。由于晶闸管控制技术的脉动特性，所以低于 1hp 的电动机在低速时速度稳定性较差，这也与电动机的低转动惯量和负载有关。然而，大功率电动机（功率在 1hp 以上）可以达到理想的变速范围。

晶体管控制器可处理闭环转速控制，变速范围超过 1000:1，而且根据设定的速度调整误差低于 1% 或 2%。晶体管控制器对最大 1hp 的电动机或最大 5hp 的伺服电动机有最好的操作优势。对较小规格的电动机需要使用连续控制方法，但是对于功率为 0.33~0.5hp 的电动机而言，PWM 技术则是最有效的控制方法。

### 17.13 开环控制（传统方法）

直流电动机的转速控制已经出现很久了。对于小型直流电动机，最古老、最广泛使用的控制方式是串联电阻器进行转速控制，如图 17-7 所示。由图 17-7 可知，变阻器与电枢及励磁电路串联。控制器的起动特性很好，低速运行时转矩较大，但是在小负载转矩时有转速失控的趋势。这使得开环控制只对具有固定摩擦力的负载有效。

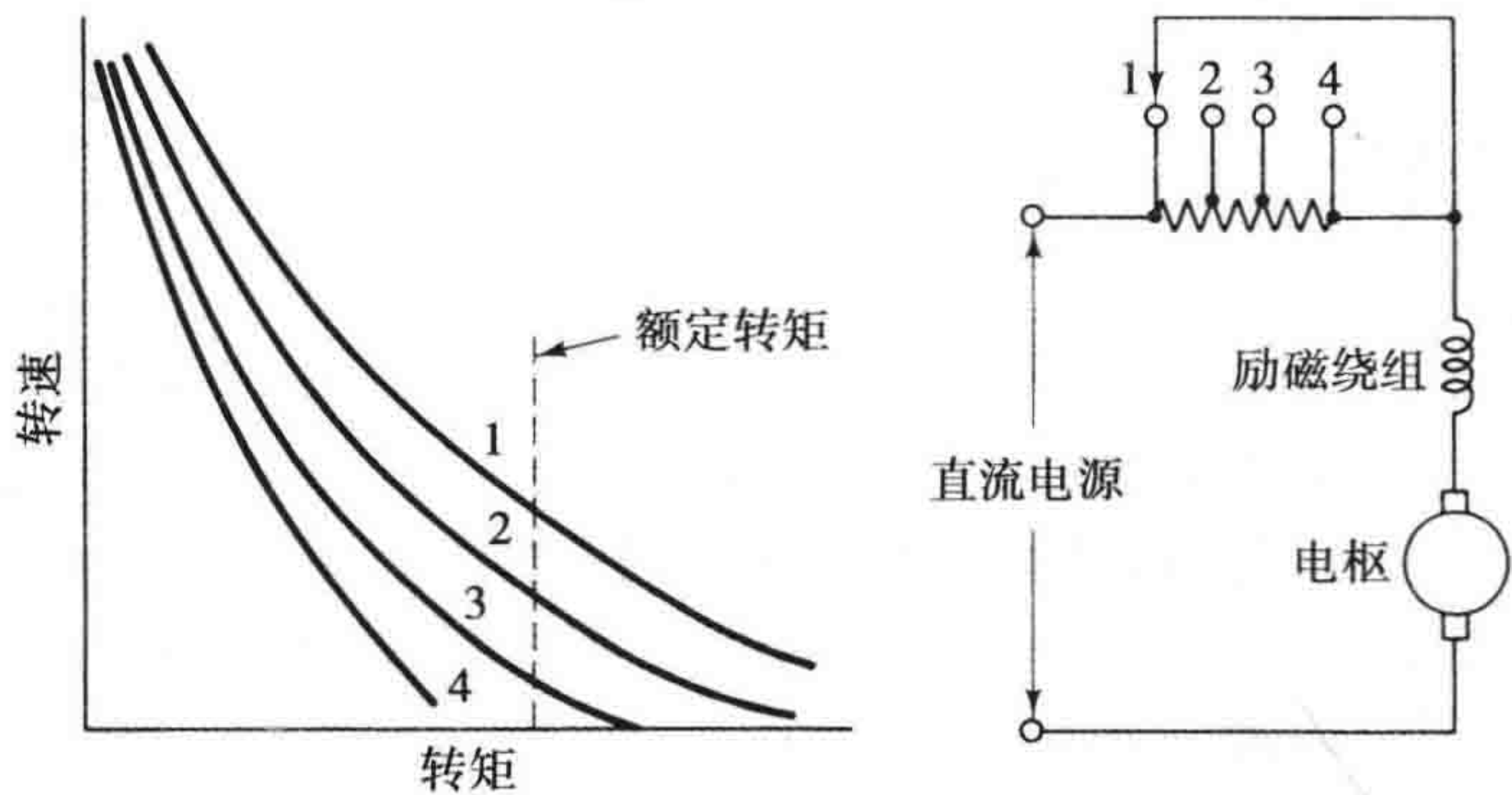


图 17-7 串励电动机串接电阻器调速的电气图与转速 - 转矩曲线



并励电动机变阻器调速控制如图 17-8 所示。电枢电路中串联了一个电阻器。励磁绕组由恒定电压所激励。当电枢电路接入更多电阻时，速度控制的效果就会变差。此类控制器接恒定负载转矩时工作效果较好，而对大范围变化的转矩效果较差。

图 17-9 给出了利用调压变压器来控制并励电动机电枢电压的电气图和转速 - 转矩特性。该方法所得的特性与变阻器控制的特性相比有很大的改善，在更大的速度范围内实现了更加匀速的调节。

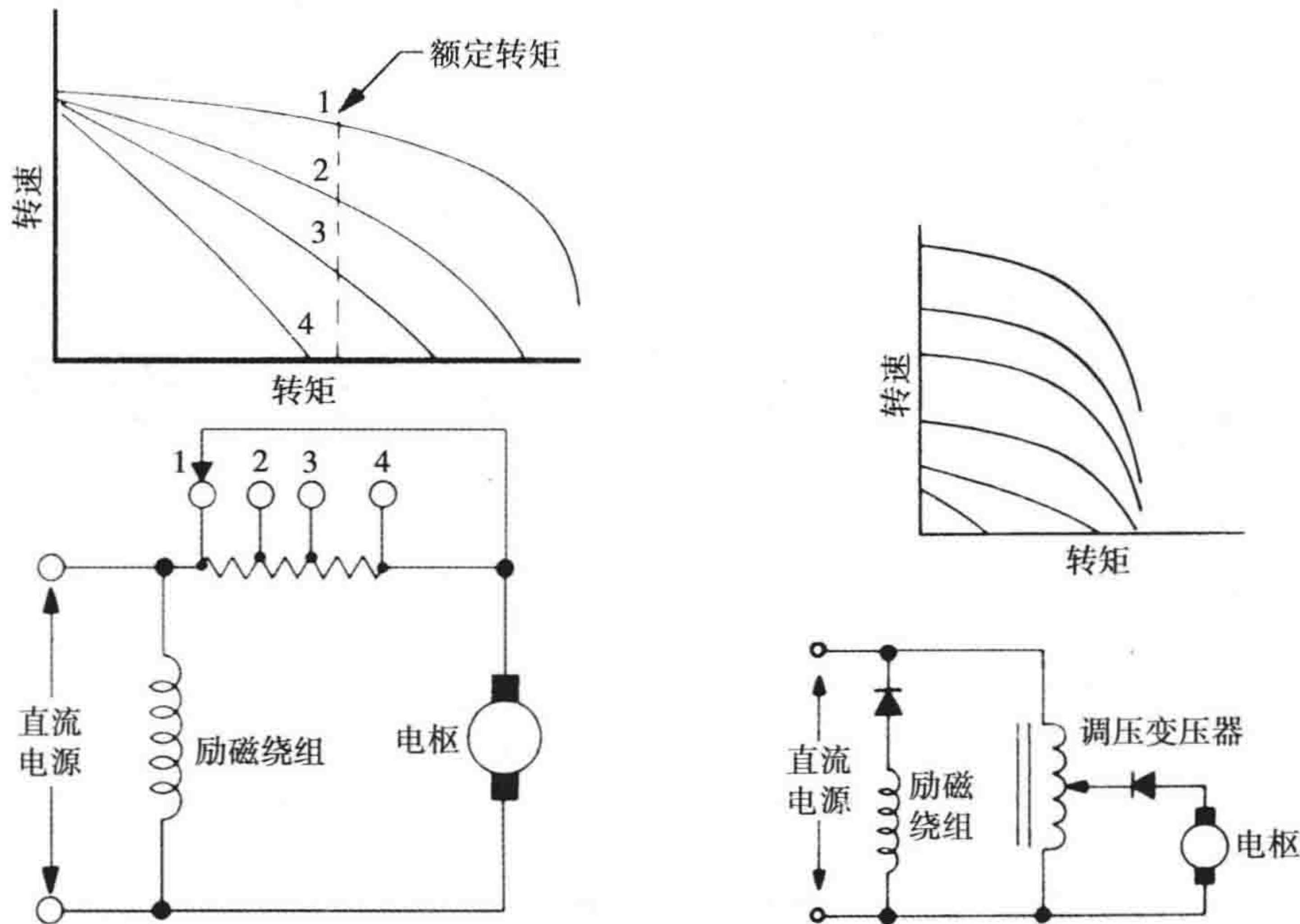


图 17-8 并励电动机串联电阻调速的电气图 图 17-9 调压变压器控制电枢电压的并励电动机与转速 - 转矩曲线

图 17-10 所示为与可变励磁变阻器相连的并励电动机的工作原理。控制电路的动作很特别，因为当电动机不受励磁电阻器控制时，电动机会达到一定的速度，一旦超过这一速度，电动机的转速就是可变的。这会产生不好的影响，因为随着接入电阻的逐渐增大（磁场变弱），电动机的转矩常数会减小。结果就是，转速越高，给定转矩下的电枢电流越大，此时电动机很容易过载。此控制电路只在特殊的场合使用，如负载的情况可预测且可控。

在一些复杂的开环控制方法中，图 17-11 所示的电动发电机组电枢控制，一个恒速电动机驱动发电机，并且发电机的励磁电压可调。发电机将产生一个可调电压，该电压传输给电动机的电枢。其转矩 - 转速特性比图 17-8 中所示的特性要好，原因是本质上转速调节与转速设置相独立。

这种方法比上文提及的其他方法具有更好的电动机转速控制效果。然而，这是以电动发电机组及相关的磁场控制为代价的，因此，此方法对民用与工业上常用的小型电动机的转速控制来说并不实用。所以，电动发电机组控制方式主要用于工业中大型电动机的转速控制上，也就是功率大于 1hp 的电动机。

17.14 闭环控制

在许多应用场合开环控制方式都能胜任，但是为了有更好的速度调节效果，如满足伺服系统需求的速度控制，就必须用到闭环控制（见图 17-12）。闭环系统的基本组成形式包括一



个执行器（电动机）、一个比较器、一个放大器以及一个传感器（发电机）。基于这一基本电路的较为复杂的控制，可使电动机产生需要的转矩与速度。

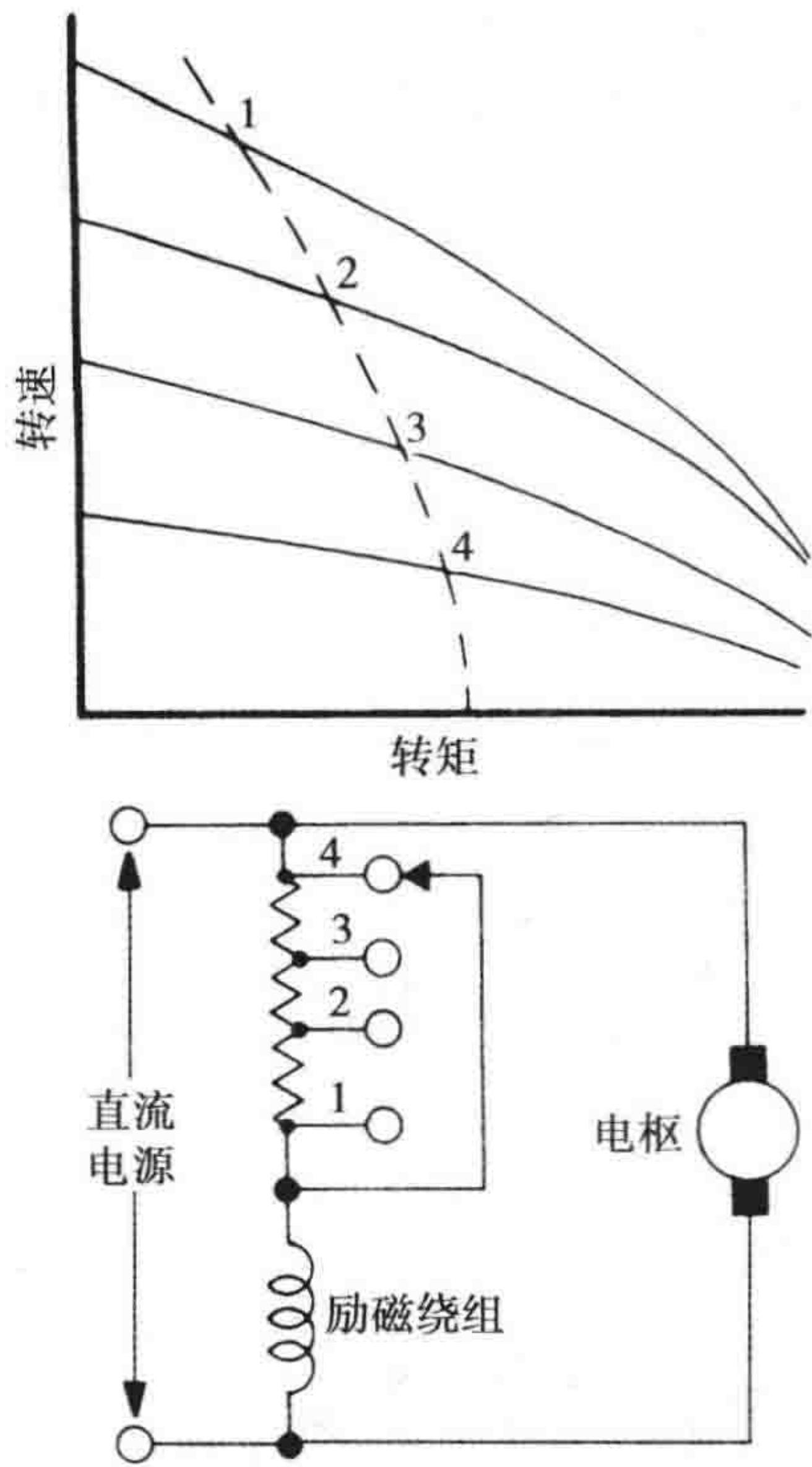


图 17-10 带可变励磁变阻器控制的并励电动机

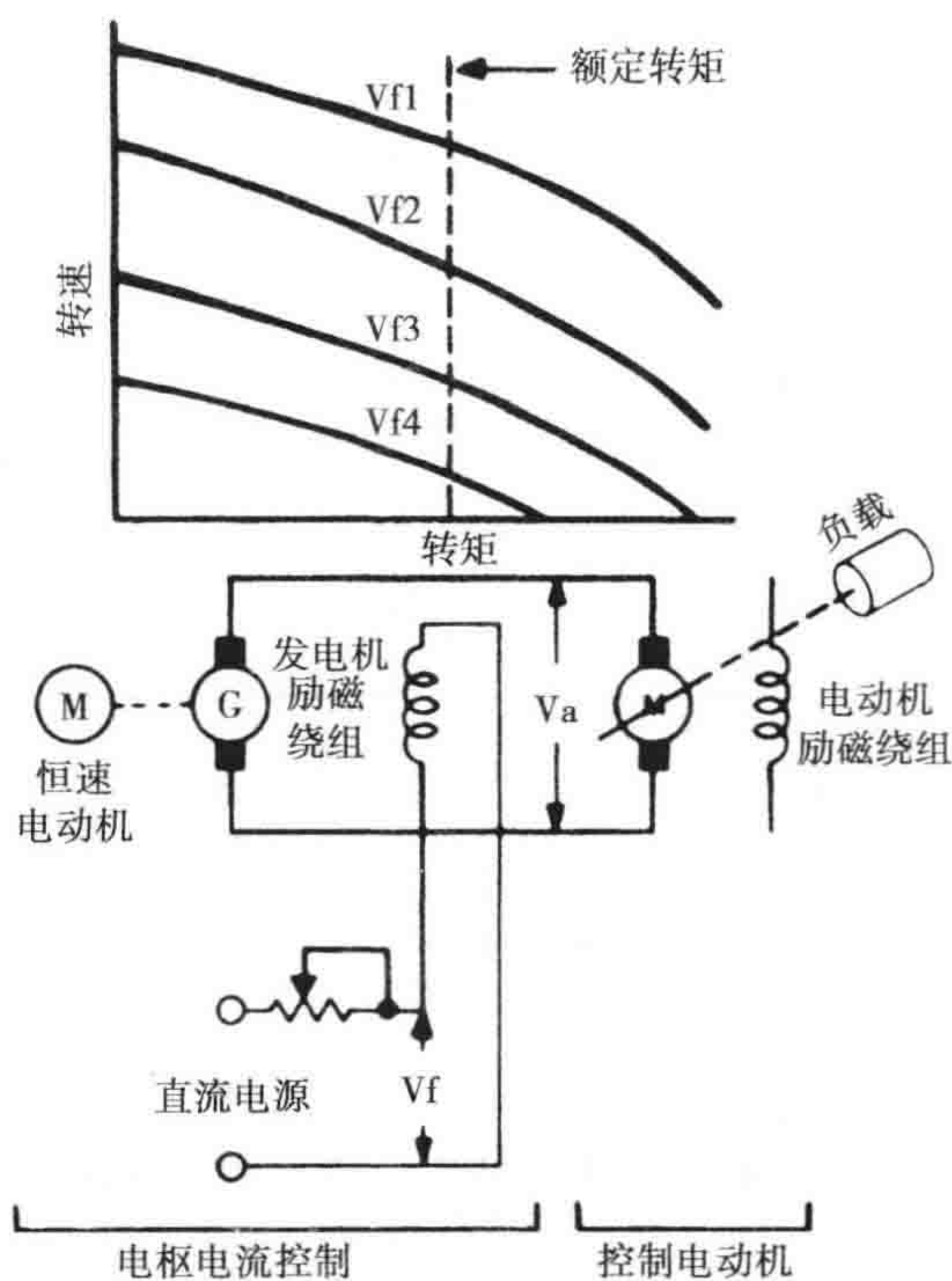


图 17-11 利用电枢控制的开环控制方式

17.15 直流驱动器的优缺点

直流驱动器的优点：其技术比交流驱动器技术简单；此项技术问世已久，众所周知；直流驱动器在变速范围内效率很高；直流控制器比变频驱动器尺寸小，但直流电动机比感应电动机要大。

直流驱动器的缺点：直流电动机并不总是能够可靠使用，或拿来就能用，为此，人们需要使用测速发电机。如果发生转速失控现象，那么驱动器可能会失控至最高转速。驱动器的功率因数也会随着转速的增加而减小。由于直流电动机的结构决定了它不可能直接跨接到电源线上。控制器需要对供给电动机的全部电能进行全功率转化。另外，直流驱动器需要大功率器件。

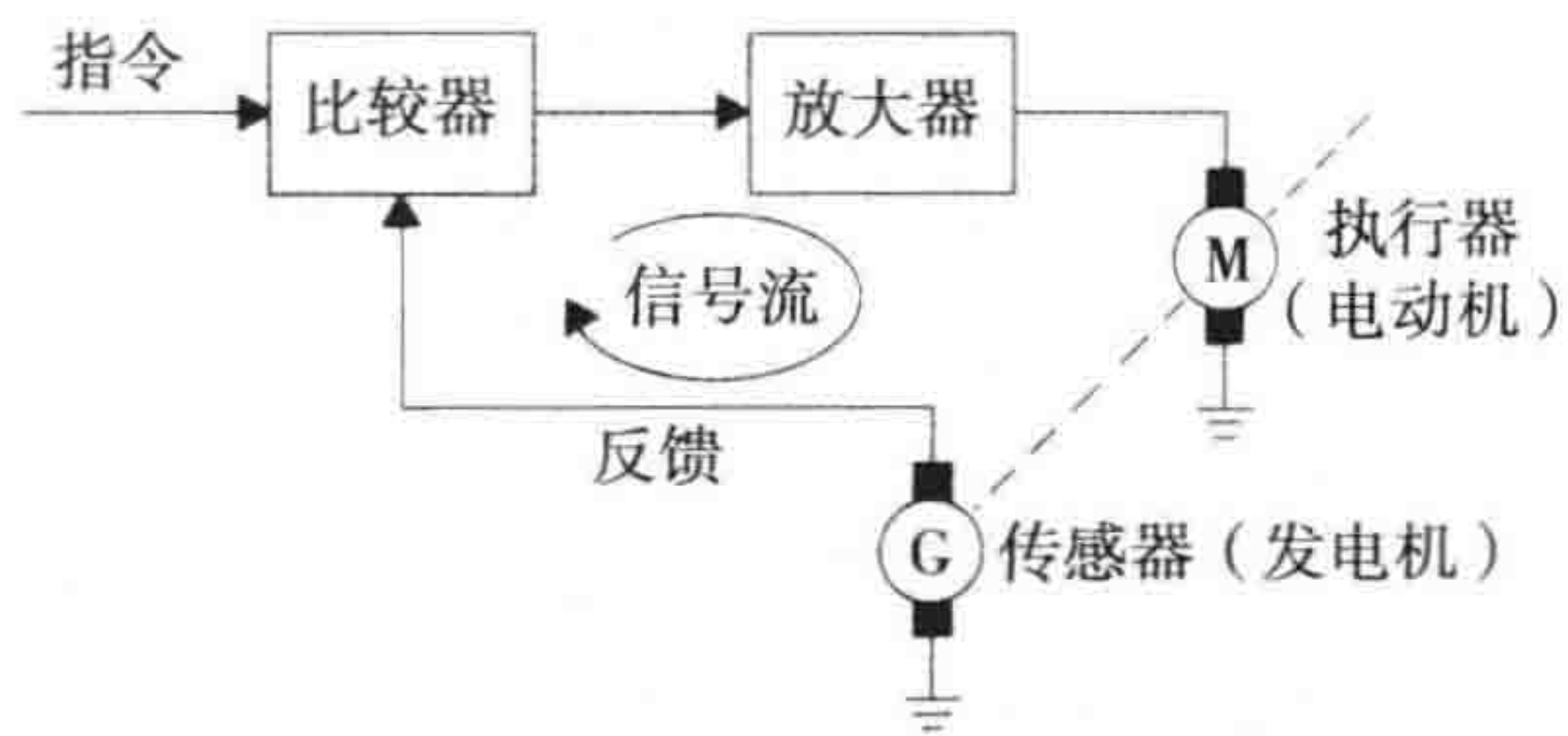


图 17-12 闭环转速控制系统

17.16 直流驱动器与系统

用户定制的驱动器以及与之配合的驱动系统的功率范围为 4~1500hp。根据电动机特性与工艺要求的不同，直流驱动有各种各样的封装与功能。

图 17-13 所示为封装在标准机壳中的可编程逻辑控制器，这种控制器用在 75hp 电动机的 Speedpak 驱动器上。系统化设计的驱动器可用在复杂的制造过程中。很多情况下，它们与可编程序控制器以及某种标准工业控制器相结合，为用户提供一整套控制系统。



17.17 固态数字交流驱动器

Bulletin 1352 是一款通用的封装套件，用于控制标准感应电动机的转速。套件具有最新型的微处理器和功率半导体技术，使用它们可以控制交流感应电动机。控制面板用于设置、操作驱动器以及排解故障，所有功能均可通过触摸按钮完成，如图 17-14 所示。所有参数都以数字形式输入，存储在一个电擦写的可编程只读存储器芯片（EEPROM）中。不需要电位计来调整，也不需要其他设备来校正驱动器。

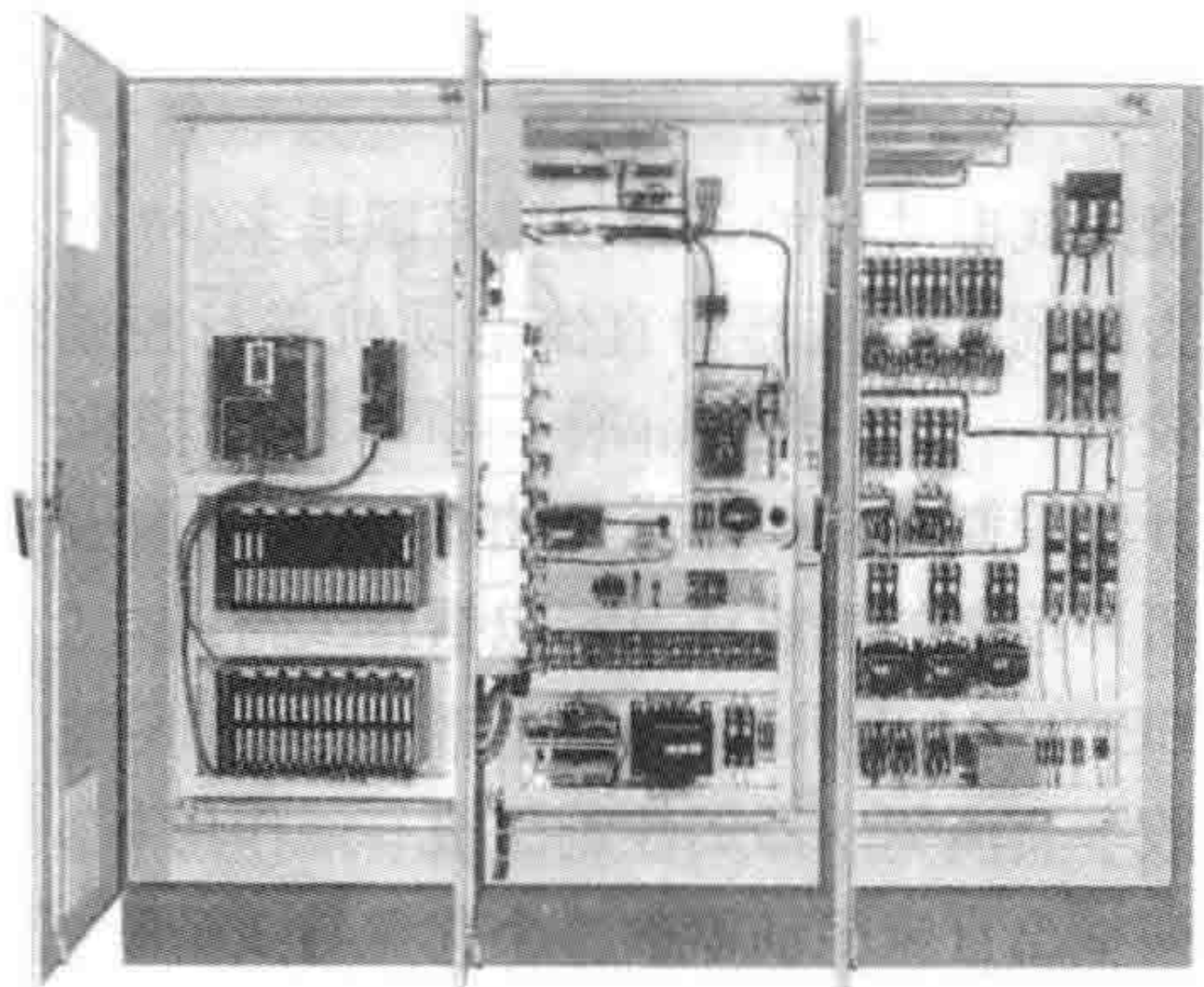


图 17-13 用于 75hp 电动机中的可编程逻辑控制器（Allen-Bradley 产品）

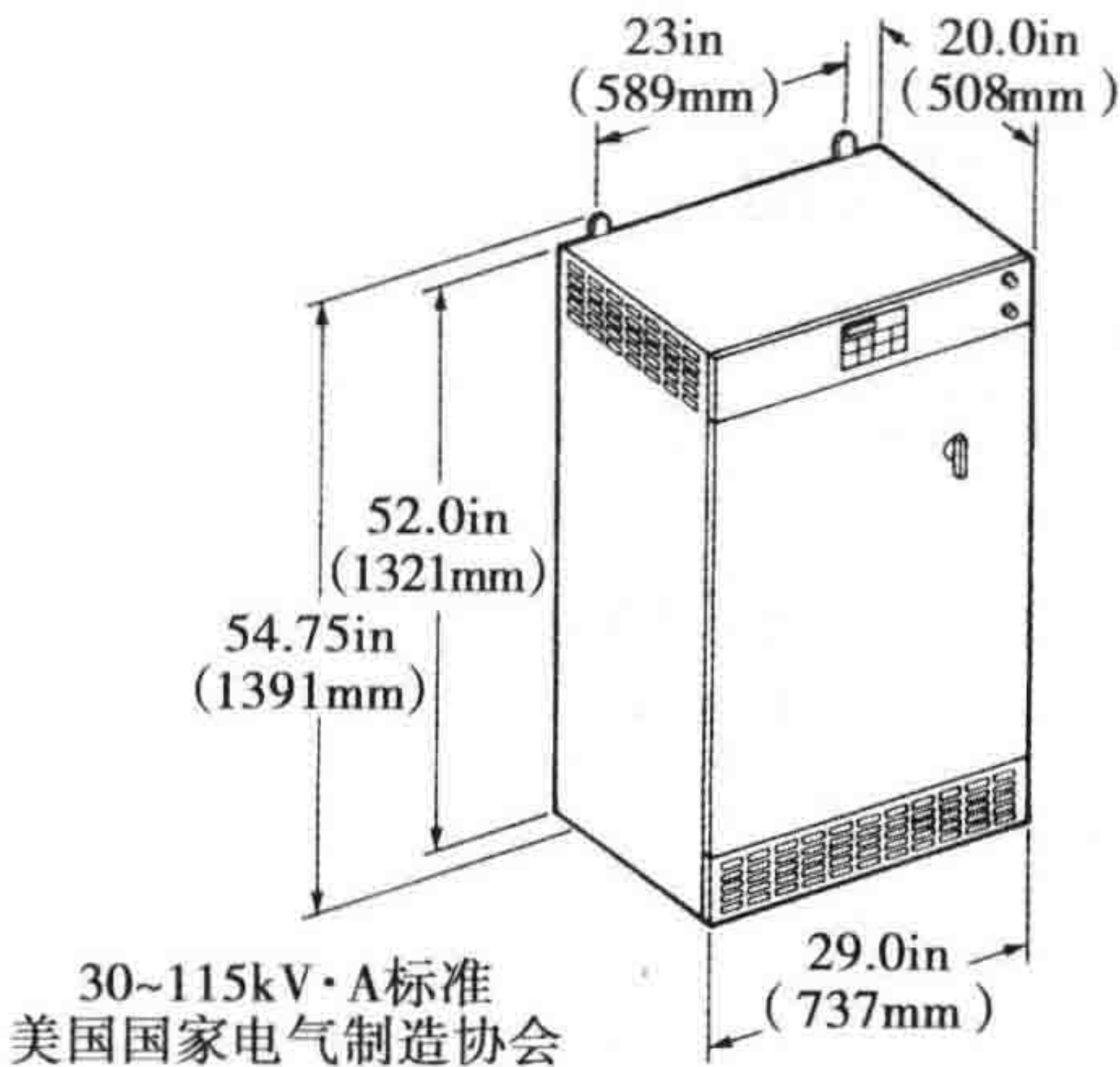


图 17-14 数字交流驱动器（Allen-Bradley 产品）

控制面板（见图 17-15）相当于一个功能齐全的操作台，可提供双向输入与输出，用于和外部设备手动接线或与其他设备接口进行连接。控制面板可以简明地以数字格式显示故障。另外，所有控制逻辑值与驱动输入 - 输出（I/O）点都可监测，以进一步增强驱动器排除故障的能力。



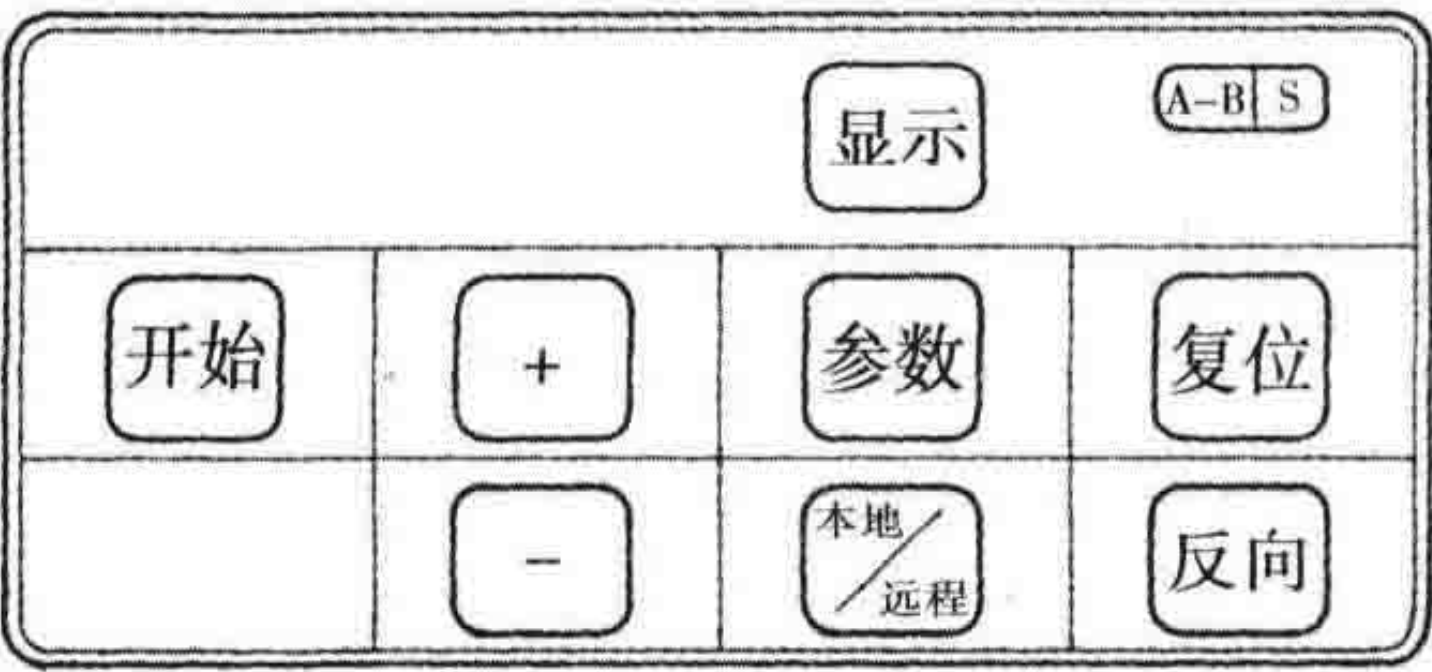
图 17-15 Bulletin1352 数字交流驱动器的控制面板（Allen-Bradley 产品）

设置驱动器的简单步骤：

- 1. 按 参数 选择参数模式
- 2. 按 + 或 - 选择要改变的参数
- 3. 按 显示 显示参数的电流值
- 4. 按 + 或 - 改变参数值
- 5. 按 复位 输入新数值

在通常的操作模式下，按 显示 按钮，  
操作员可以监测：  
☐ 驱动频率的参考值  
☐ 输出频率  
☐ 电动机负载  
☐ 输出电压





故障发生时，会显示相应的故障诊断码，指示以下情况：

- ☐ 过电流
- ☐ 短路
- ☐ 欠电压
- ☐ 过电压
- ☐ 温度过高
- ☐ 半导体故障
- ☐ 处理器故障

图 17-15 （续）

17.18 思考题

1. 哪两种调速驱动器可用于风扇控制？

2. 变频驱动器的另一个名字是什么？

3. 目前应用的 3 种主要逆变器是什么？

4. 哪些因素影响电动机的输出？

5. 电流源逆变器工作的最佳功率范围是多少？

6. VVI 表示什么含义？

7. 使用调压逆变器有何缺点？

8. PWM 是什么意思？

9. 涡流驱动器的两个组成部分分别是什么？

10. 如何使涡流最小？

11. 涡流驱动器的主要优点是什么？
12. 绕线式电动机的正常功率范围是多少？

13. 为何利用变阻器对直流电动机进行控制效率较低？

14. 开环控制的主要缺点是什么？

15. 闭环控制的组成环节都包括什么？

16. EEPROM 表示什么？

17. 数字交流驱动器的控制面板有何作用？

18. 列举出直流驱动器的 3 个优点与 3 个缺点。

19. SCR 控制表示什么？

20. 列举交流驱动器的 3 个优点与 3 个缺点。



# 第18章

## 变 压 器

### 18.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 解释变压器的工作原理。
2. 描述自耦变压器的工作原理。
3. 列出变压器的损耗。
4. 描述如何制造保证环境安全的变压器。
5. 解释什么是多氯联苯。
6. 解释为什么选用三相变压器对电动机进行控制。
7. 解释三次谐波。
8. 画出升 / 降压变压器的原理图。
9. 解释什么是多氯联苯合成绝缘液。
10. 列出 3 种类型的干式变压器。
11. 描述排除油浸式变压器的故障以及维修油浸式变压器的方法。
12. 确定不同功率的单相电动机和三相电动机的电流需求。
13. 画出 Y-Y（星形-星形）联结。
14. 画出 Y-D（星形-三角形）联结。
15. 画出 D-D（三角形-三角形）联结。
16. 画出 D-Y（三角形-星形）联结。

### 18.2 变压器

变压器能够使我们成功地利用发电厂产生的高电压电能。使用它们可以改变电压，从而实现电功率从发电机侧到用户的传输。变压器能让我们利用电完成很多事情，它是藏在地上或地下的封闭箱里相对无噪声的设备。变压器几乎没有移动的部件（除了某些情况下的通风装置），而且使用效率超过 99%。变压器的尺寸变化范围很大，既可以小到如一颗豌豆，又可以重达超过 500t。但是，不管变压器的尺寸和用途如何，决定变压器功能的工作原理都是相同的。

变压器运用的是互感原理，使得其在输入线圈和输出线圈没有直接电连接的情况下就能传输电能。电流流入变压器的一次绕组，产生磁通，通过该磁通，一次绕组同二次绕组耦合，在二次绕组上产生电压。该感应电压会根据磁场强度的增大或减小而改变。变压器运行的最终结果就是在二次绕组上产生电动势（如图 18-1 所示）。



### 18.3 铁心变压器

铁心变压器利用互感原理在一次绕组和二次绕组之间传递能量。铁心给磁通提供一条低磁阻路径。图形符号中一次绕组和二次绕组之间的两条直线代表铁心。

由于交流电不断地改变其磁场，所以变压器可以用这个变化的磁场将交流功率从一次侧传递到二次侧（如图 18-2 所示）。请注意：这种类型的变压器，两个绕组并没有连接在一起（后续内容将介绍只有一个绕组的自耦变压器）。磁场是将能量从一次侧传递到二次侧的唯一方式。

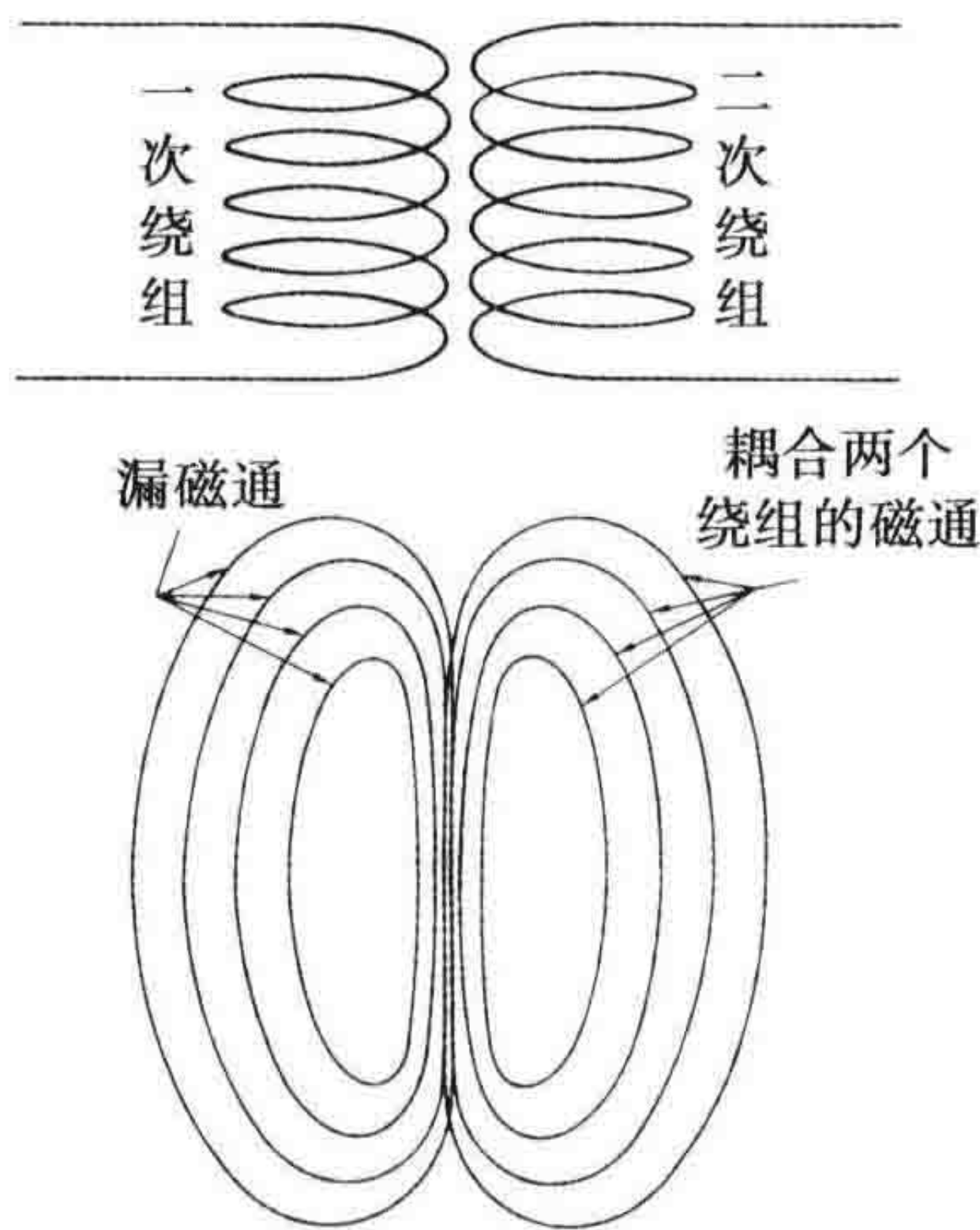


图 18-1 一次绕组和二次绕组通过磁通曲线进行耦合

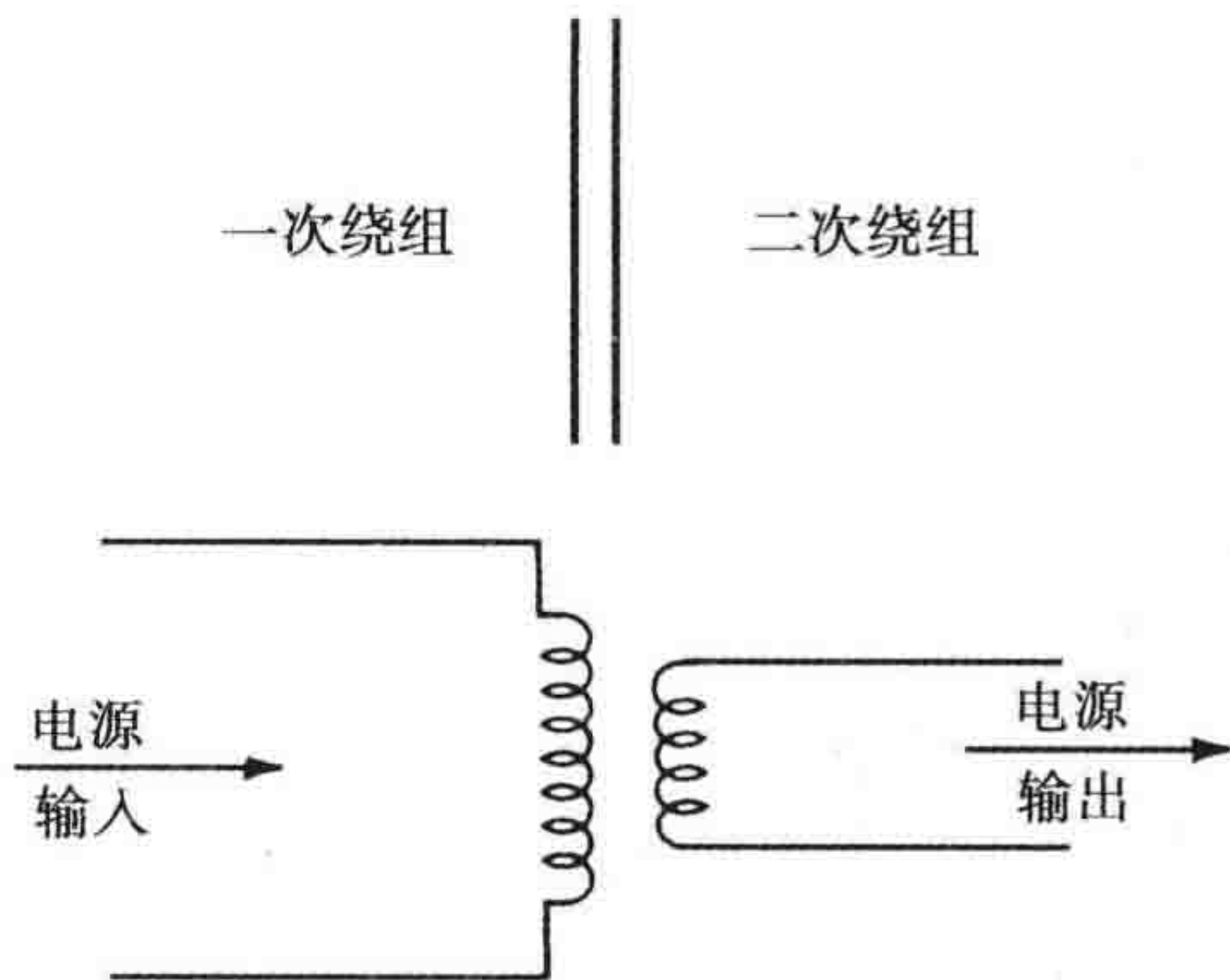


图 18-2 通过磁耦合将电功率从一次侧传递到二次侧

### 匝数比

变压器的功能是升压或降压。如果输入电压高于输出电压，那么这种变压器为降压变压器。升压变压器则相反，它的输出电压高于输入电压。输入电压与输出电压的关系取决于绕组的匝数比，它描述了一次绕组和二次绕组之间的关系。匝数比的第一个数字代表二次绕组匝数，第二个数字代表一次绕组匝数。一次电压（ $E_p$ ）与二次电压（ $E_s$ ）之比等于一次侧匝数与二次侧匝数比，即

$$\frac{E_s}{E_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

我们也可以说，一次侧的功率等于二次侧的功率加上损失的功率。

轻微的过载会使变压器的温度升高，因此，变压器所允许流过的电流就代表了变压器自身能承受热量的能力。

### 18.4 自耦变压器

自耦变压器给变换电压和阻抗提供了一个简单的方法，但是它们不像常规的变压器一样把一次绕组和二次绕组分开。无论自耦变压器是用来升压还是用来降压的，二次侧的负载是一次侧电路的一部分。在工业中使用自耦变压器的一个很好例子就是升 / 降压变压器，它的功能是根据需要增大或者减小电压（见图 18-3）。

自耦变压器的应用受到一定限制，其原因是在某些安装过程中并不总是能够将它的一端按照美国国家电气规程（NEC）的要求进行接地。



匝数比

自耦变压器的电压比和抽头与公共端之间的匝数以及整个绕组的匝数具有直接的关系。自耦变压器的电压和阻抗的计算与具有独立绕组的变压器的电压和阻抗的计算方法相同。电压与绕组的匝数成正比，阻抗比等于匝数比的平方：

$$\frac{N_p}{N_s} = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}} \text{ 或 } \frac{Z_p}{Z_s} = \left(\frac{N_p}{N_s}\right)^2$$

18.5 变压器损耗

大多数变压器在运行时都会发热，还有一些变压器如果长时间使用会产生大量的热。这部分热量代表了功率损耗，这意味着变压器效率小于 100%。

18.5.1 涡流损耗

最大的功率损耗来自于涡流，这些涡流是在铁心材料中感应产生的电流。由于铁心材料具有低阻性，因此铁心中具有很多闭合回路供这些大电流流过。铁心材料中电流产生的热量，造成了能量的浪费。

涡流属于无法获取的电流，它们是由链接一次绕组和二次绕组的磁通产生的，这个磁通对于将电能从一次侧传递到二次侧是非常必要的。然而，它们也将在铁心中感应出电压（见图 18-4a）。涡流产生的磁通量与一次绕组和二次绕组耦合的磁通方向相反，这意味着输入功率变大了，并且一次电流高于二次侧负载所需要的电流。

利用叠片铁心（见图 18-4b）可以减小涡流损耗。叠片铁心中的涡流路径与绕组中的电流平行，这些叠片形成高阻电流路径，降低了涡流的流通，同时，叠片铁心也提供了一条低磁阻路径，这样的结构不会影响变压器的工作。

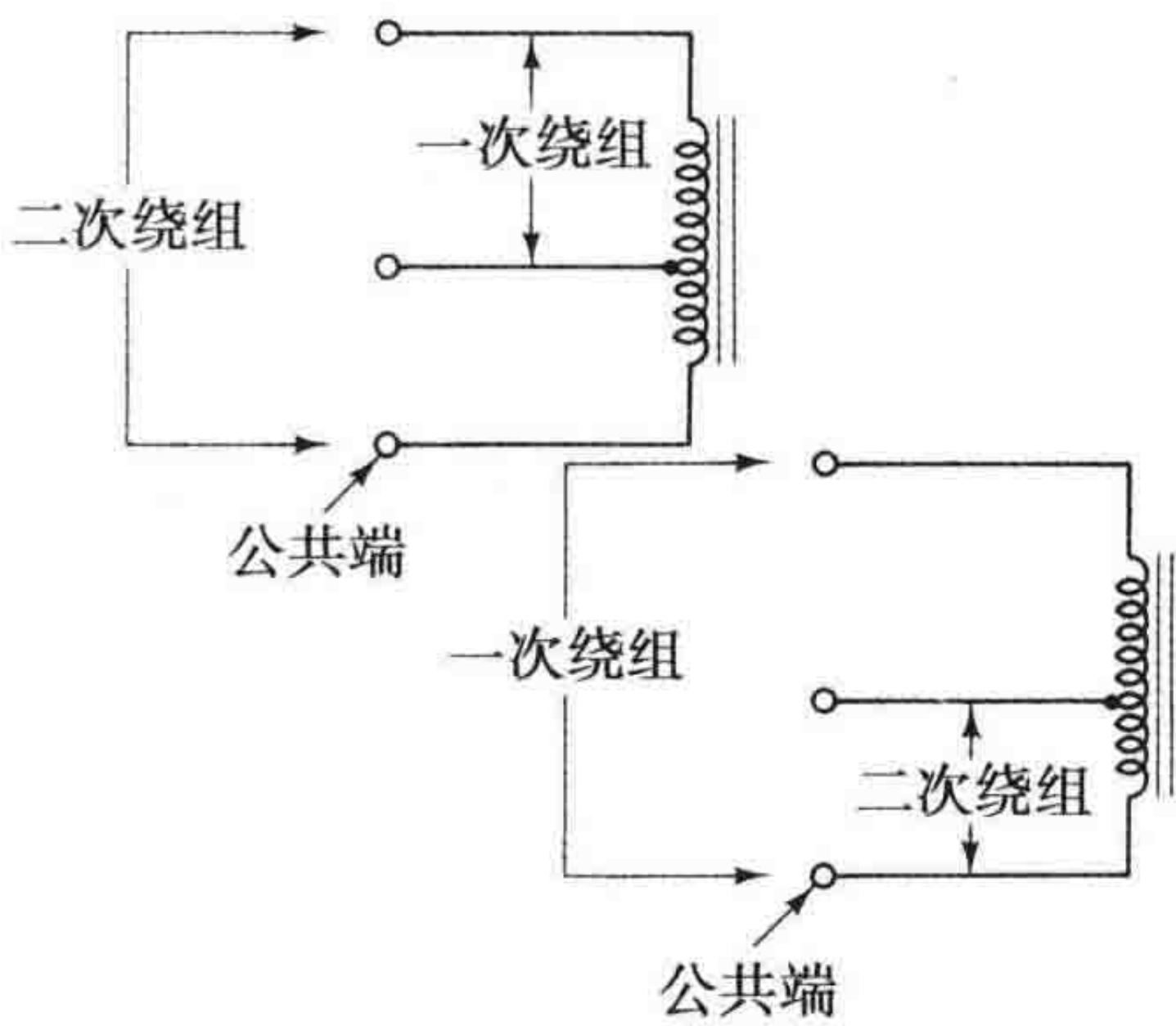


图 18-3 一次绕组和二次绕组都是自耦变压器中单绕组的一部分

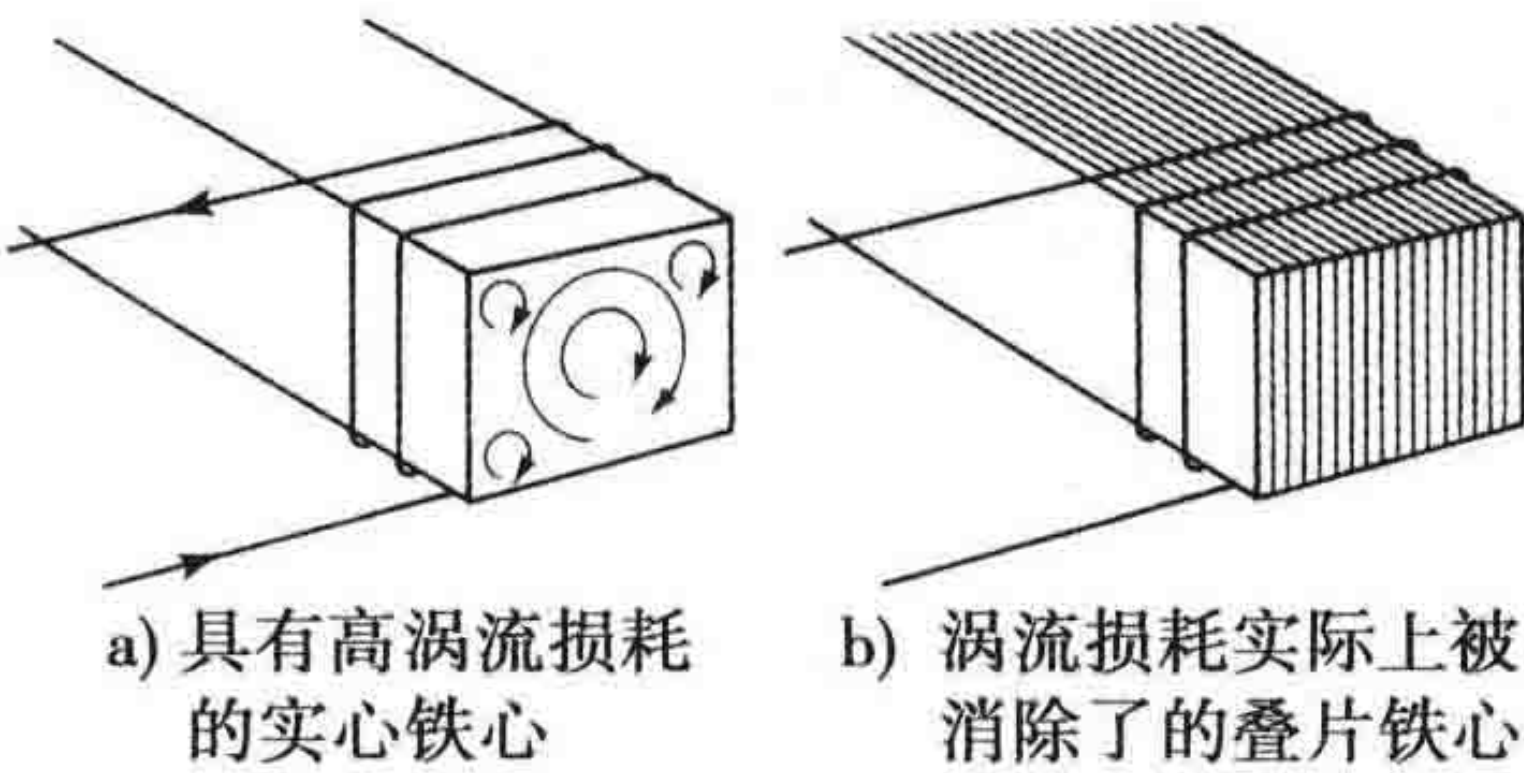


图 18-4 铁心中的涡流

18.5.2 磁滞损耗

变压器在运行过程中，磁滞所产生的损耗是变压器损耗的重要组成部分。这些损失与铁心的性能有关。铁心的极性变化滞后于电流和磁场的极性变化，这种滞后称为磁滞现象或者缓慢变化属性（根据电流极性从 S 极改变到 N 极或者从 N 极到 S 极）（见图 18-5）。

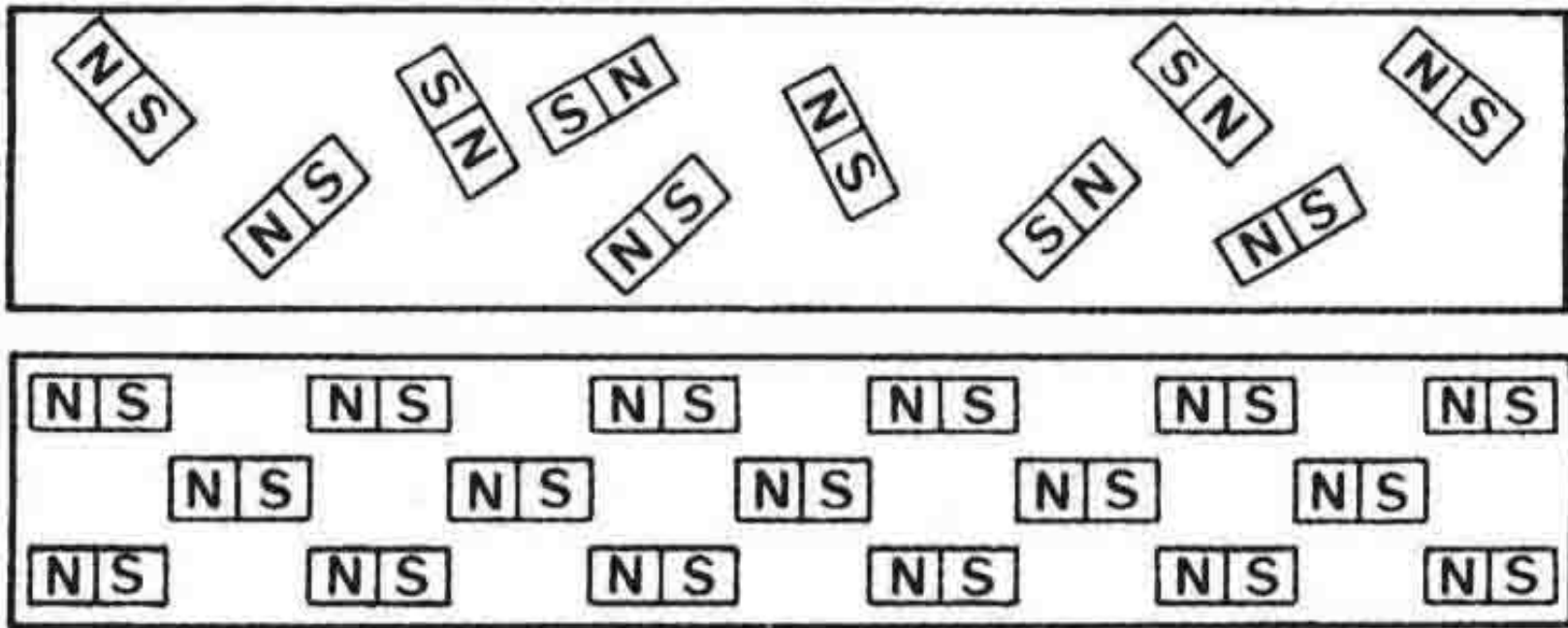


图 18-5 磁滞损耗的功能示意图



注意观察从 N 极到 S 极的变化之间，N-S 极是如何完成磁畴有序的磁场排列和非磁畴磁场的混乱排列的。因为金属结构实际上是随着极性的变化而变化的，所以这种从 N-S 极方向到 S-N 极方向的变化会消耗能量。由于硅钢会消耗最小的能量来改变磁场的极性，因此变压器采用硅钢来降低磁滞损耗。

18.5.3 铜耗

铜耗是由一次绕组和二次绕组铜导线上的电阻产生的。大规格的铜导线有助于减少这些损失。

18.6 铁心结构

电力变压器至少有两个可用的铁心（见图 18-6），在机架不同位置的铁心上分别有一个低压绕组和一个高压绕组（见图 18-6a）。壳式结构使变压器运行效率更高（见图 18-6b），其原因是二次绕组在一次绕组上缠绕，使得通过二次绕组的磁通最大。磁场集中于中间柱形铁心上，而且被两侧柱形铁心限制在铁心内。铁心叠片为 E 形，交错叠放。I 形叠片可以补全闭合磁路，E-I 组合为磁通提供了完整的闭合路径。

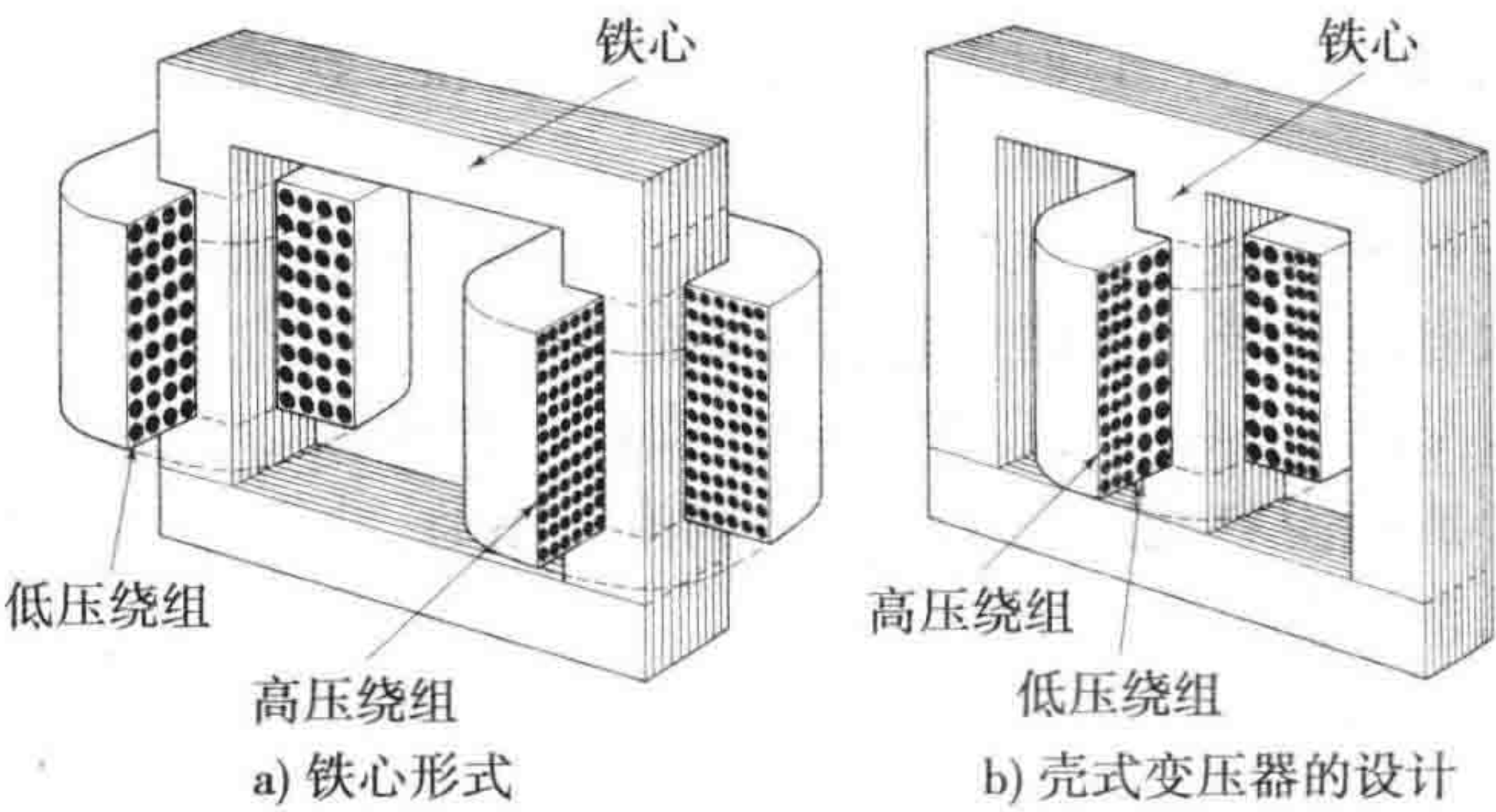


图 18-6 变压器铁心

在三相变压器中，二次绕组在一次绕组上缠绕，共有 3 组绕组，它们分别在变压器铁心的一个柱形磁柱上。图 18-7 所示的三相变压器剖视图描述了这一结构。请注意：热油通过冷却器流动，然后通过底部和冷却管，重新注入油箱中。

18.7 变压器油

为了制造更好的变压器，工业界在 1929 年发现多氯联苯（PCB）可以成为良好的绝缘油，同时也可以通过将热量传递到外部冷却装置上来防止线圈过热（见图 18-7）。然而，PCB 是有毒的，并且会导致人类和动物患上癌症。所以，美国环境保护署（EPA）密切关注利用这一冷却油的变压器：

- 1. PCB 变压器：PCB 含量超过 500 ppm（ppm 表示百万分之一）的所有变压器。这些变压器不能重建，并且必须有 EPA 标签。
- 2. PCB 污染变压器：不属于第 1 类的所有变压器 PCB 含量必须在 50~500ppm 之间，除非它们的 PCB 含量通过试验得到证明。它们是可以重建的，但 PCB 液必须在得到 EPA 批准的焚烧炉中烧掉。
- 3. 无 PCB 变压器：该类变压器 PCB 的含量小于 50ppm。

这种技术的发展在变压器制造过程中具有巨大的历史意义，因为它也显示了过去 60 多年间技术的发展与进步。



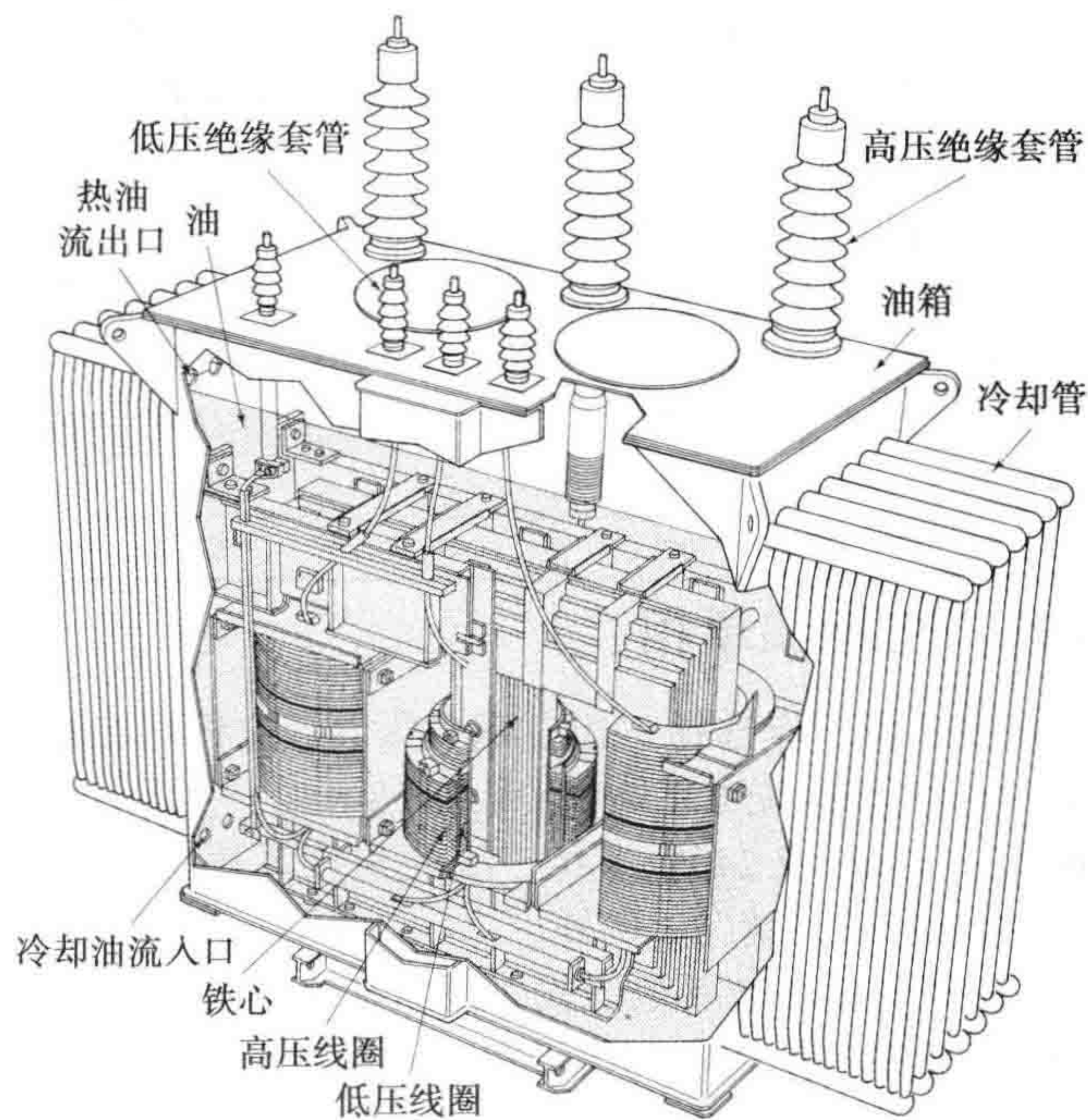


图 18-7 三相变压器剖视图

EPA 关注要点<sup>⊖</sup>

- 1929 年——多氯联苯由 Swann 化工公司发明。
- 1933 年——通用电气公司为 PCB 在变压器中作为电介质液体的应用申请了专利，并且将其应用于公司的服务之中。
- 1977 年——EPA 发布了关于“多氯联苯（PCB）制造、加工、商业配送和使用禁令”的最终规定。
- 1982 年——电气使用规则要求对 PCB 的泄露状况进行定期检查和记录，建立了 PCB 变压器的新分类，泄漏会使食用植物和动物饲料具有接触到 PCB 的风险。
- 1985 年 7 月——由于 PCB 变压器会引发火灾，所以火灾隐患规则对于 PCB 变压器的使用提出了新的限制，并且要求在 1990 年 10 月 1 日之前拆除所有的高风险变压器或者加装变压器保护装置。
- 1985 年 8 月 16 日——火灾隐患规则要求报告任何与火灾有关，并造成油箱破裂的 PCB 变压器及其清理过程的细节。
- 1985 年 10 月 1 日——这是食品和饲料加工厂中 PCB 变压器的迁出期限。也禁止将使用过的 PCB 变压器安装到商业楼宇中。商业楼宇被定义为具有公共集会属性、教育属性的机构、商店、办公大楼和运输中心，如机场、公交站或火车站。
- 1985 年 12 月 1 日——火灾隐患规则进一步规定了关于所有 PCB 变压器的要求：
1. 清除变压器内部和周围所有的可燃物。
  2. 通知当地消防部门 PCB 变压器的位置。
  3. 必须为消防队员标识清楚接近 PCB 变压器的通道。
  4. 商业楼宇内部或者附近的 PCB 变压器的所有者必须向楼宇所有者注册自己的变压器，

⊖ 信息来自于 Square D 公司。



标明变压器的完整描述和所在位置（“近”意味着 30m 范围内）。

1990 年 10 月 1 日——商业楼宇内部或者附近的所有 PCB 变压器必须按照它们的分类进行拆除、改装或配备新的故障保护。

- 1. 二次电压小于 480Y/277 V 的变压器要求有高故障电流保护。
- 2. 二次电压为 480Y/277 V 或更高的星形联结的变压器，必须具备高、低故障电流保护。
- 3. 自从这个日期开始，禁止使用 PCB 变压器。

在阅读上述要求之后，很明显可以看出，最好的永久解决方案是改造或更换变压器，提供一个非 PCB 变压器。

18.8 自耦变压器：三相和单相

从经济和能源的角度考虑，应选择三相自耦变压器。它们用在建筑物内部具有 480Y/277V 或者 208Y/120V 的三相四线配电系统中（见图 18-8）。

自耦变压器不能用于 480V 或 240V 三相三线的角接系统中。依照 NEC 条例 210—9，三相系统必须有中性点接地导线，情况 1 例外。

除了这个条例外，自耦变压器和其他干式变压器有着相同的安装要求。图 18-9 显示了一个自耦变压器典型的接线图。表 18-1 列出了在 30~300kV · A（千伏 · 安）范围内自耦变压器的一些特点。

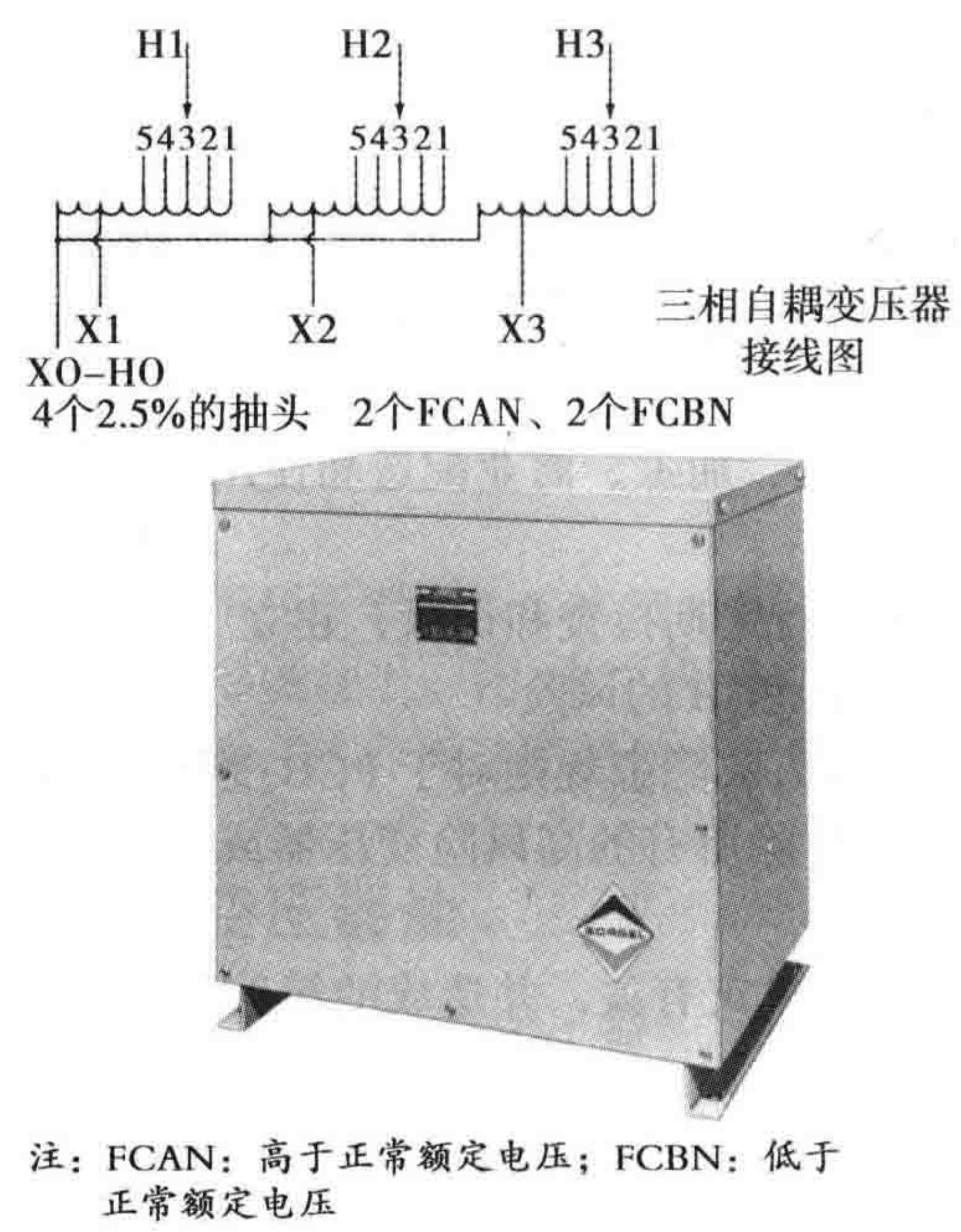


图 18-8 自耦变压器（Square D 产品）

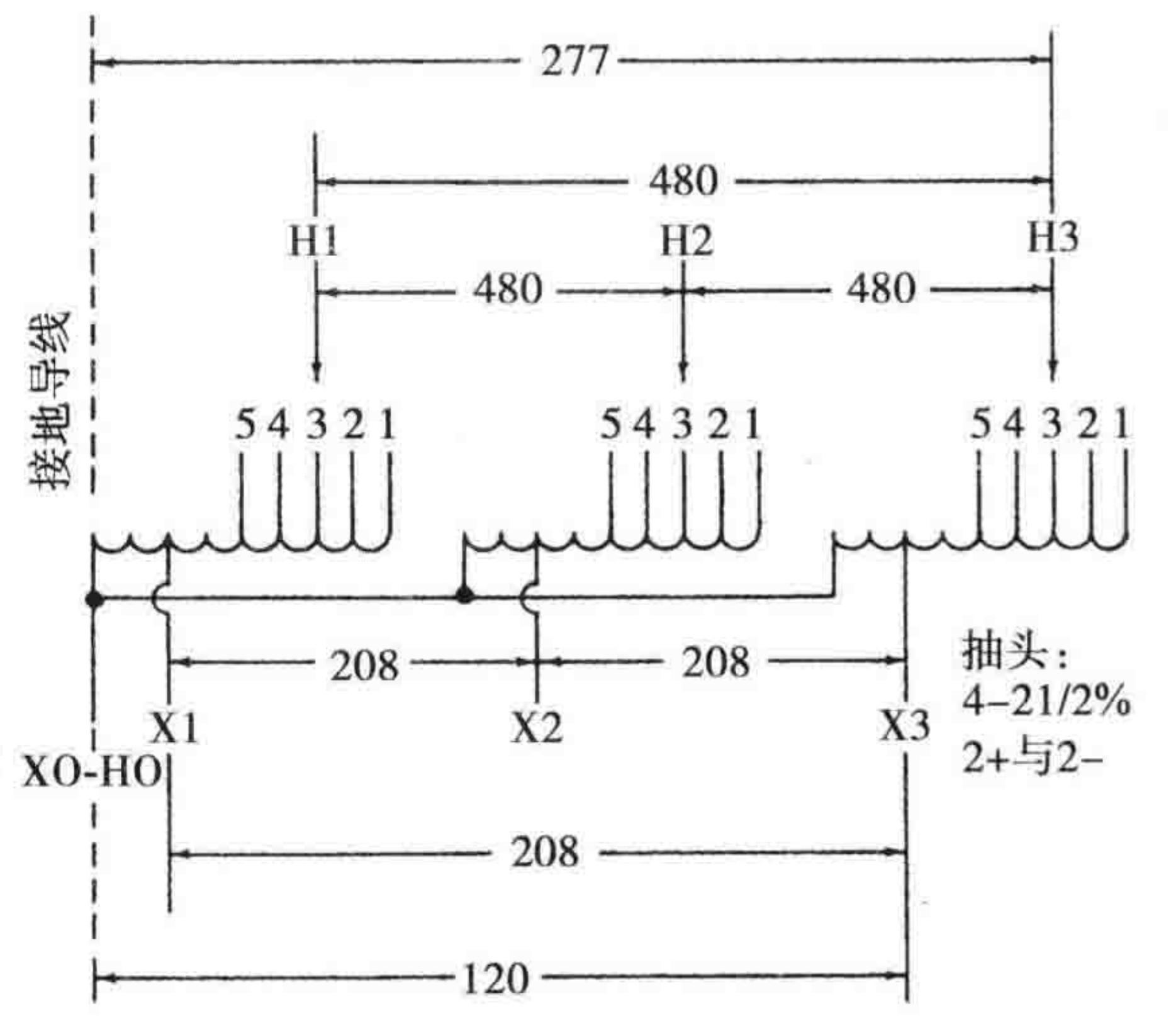


图 18-9 自耦变压器的典型接线图（Square D 产品）

表 18-1 自耦变压器

容量 (kV · A)	温升 (°C)	预估尺寸			重量 (lb <sup>②</sup> )	平均	
		高度 (in <sup>①</sup> )	宽度 (in)	深度 (in)		X	Z (%)
						R	
30	150	23	22 1/4	15	250	1.4	2.1
45	150	23	22 1/4	15	275	1.0	3.3



(续)

容量 (kV·A)	温升 (°C)	预估尺寸			重量 (lb <sup>②</sup> )	平均	
		高度 (in <sup>①</sup> )	宽度 (in)	深度 (in)		X	Z (%)
						R	
75	150	30	30	20	425	1.2	3.7
112.5	150	30	30	20	605	1.0	2.4
150	150	42	36	24	750	1.5	3.5
225	150	42	36	24	1065	1.1	2.6
300	150	42	36	24	1375	2.6	3.5

① 1 in=0.0254m。

② 1 lb=0.4535kg。

来源：由 Square D 提供。

电源和负载共享一个绕组，所以电源和负载之间不存在绝缘。需要注意的是，如果需要，建议使用一次绕组和二次绕组间具有屏蔽的隔离变压器，尤其是相对计算机和其他的敏感负载来说。

18.8.1 阻抗

相比于同容量的双绕组变压器，自耦变压器的阻抗相当低。虽然这会提供较好的电压调节，但是在进行短路研究以选择保护装置时，该阻抗值较小、短路电流较大的特点必须充分考虑。请注意表 18-1 中 X/R 和 Z (%) 的值。表 18-2 描述了 170°C 时变压器的阻抗。

表 18-2 170°C 时变压器的阻抗

容量 (kV·A)	阻抗 (%)	
	自耦变压器	隔离变压器
30	2.1	5.5
45	3.3	5.7
75	3.7	5.2
112	2.4	6.9
150	3.5	6.7
225	2.6	6.6
300	3.5	3.7

来源：由 Square D 提供。

18.8.2 三次谐波

在 Y/Y 联结时三次谐波总是存在的，但用 3 个柱形铁心可以使其影响降低到最小。对于一般用途而言，它不构成问题。表 18-3 给出了变压器的噪声等级。

表 18-3 变压器噪声等级

容量 (kV·A)	噪声等级 (dB) <sup>①</sup>		
	设计等级		NEMA 标准
	自耦变压器	隔离变压器	
30	43	43	45
45	44	44	45
75	44	47	50



(续)

容量 (kV · A)	噪声等级 (dB) ①		
	设计等级		NEMA 标准
	自耦变压器	隔离变压器	
112	44	49	50
150	50	50	50
225	50	51	55
300	52	54	55

①分贝，1dB 的声音变化是人耳可以检测到的最小声音，数学上等于  $10 \times \log_{10}$ 。

来源：由 Square D 提供。

18.8.3 接地

NEC 的条例 250—26 描述了交流系统中独立设备的接地问题，在连接变压器之前，最好学习一下条例 250—25 或 250—79 (c) 和 250—5 部分的要求。图 18-10 所示为双绕组变压器接地的典型画法，图 18-11 给出了依照 NEC 条例 210—9，自耦变压器中性点接地的方法。

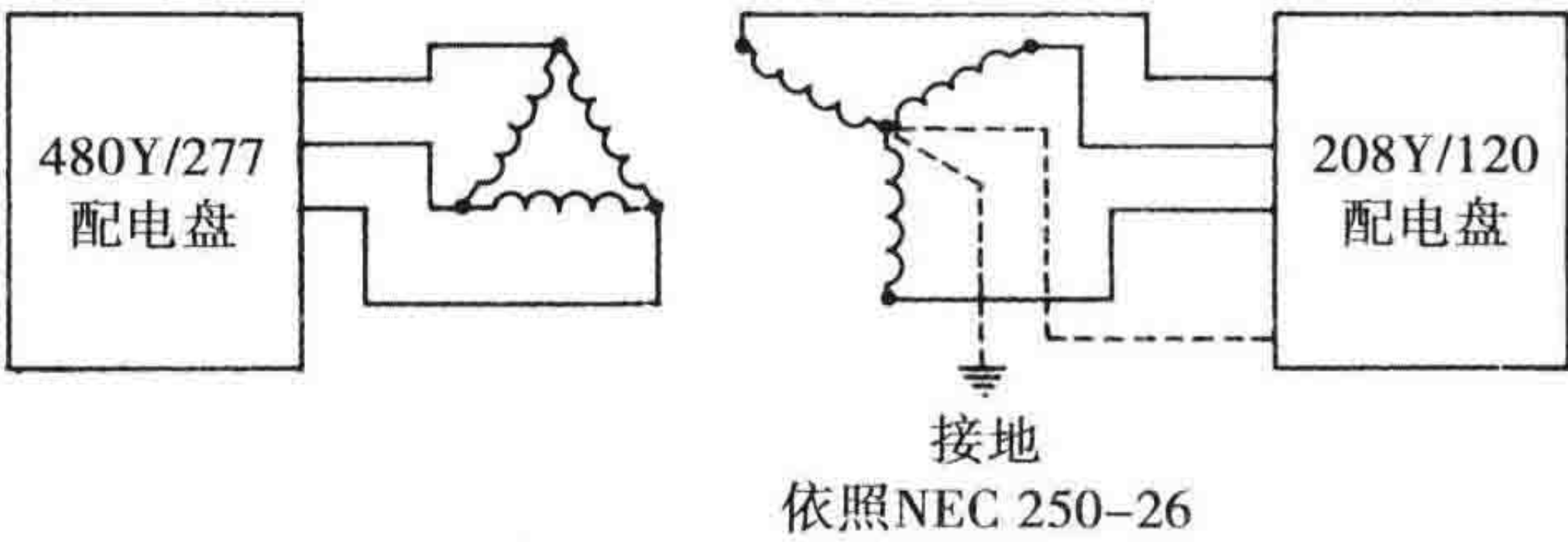


图 18-10 双绕组变压器 (Square D 产品)

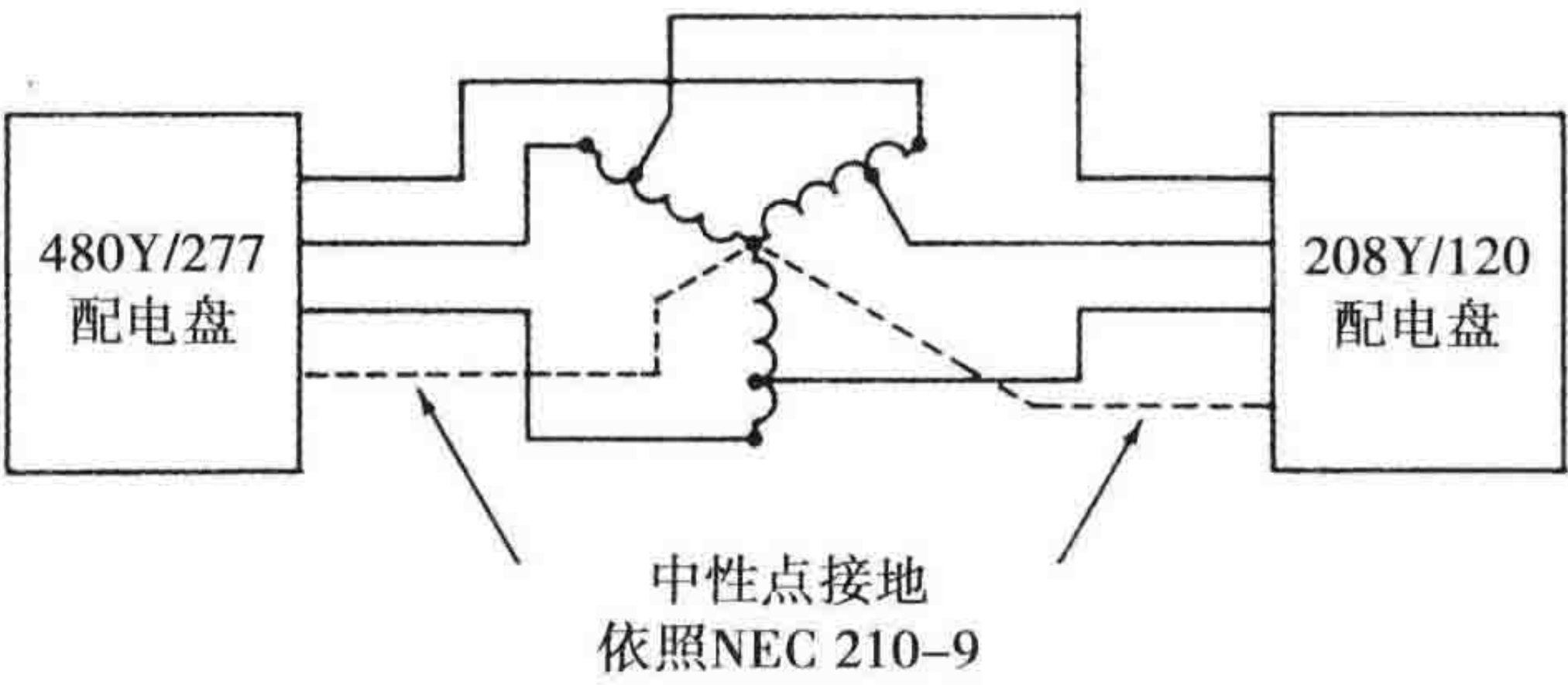


图 18-11 中性点接地的自耦变压器 (Square D 产品)

无论是 480Y/277V 系统还是 208Y/120V 系统，对于自耦变压器而言，接地导线都与变压器的公共 HO-XO 端相连，这种接地满足 NEC 要求。

因为在大多情况下，变压器与其供电负载距离很近，所以，第四根导线的损耗可认为是微不足道的。自耦变压器的连接如图 18-11 所示。

18.9 升 / 降压变压器

升压和降压变压器用来提高或降低电压，这类变压器是隔离变压器，它们具有 120V/240V 一次绕组和 12V/24V 或 16V/32V 二次绕组。对于隔离变压器，其铭牌上标有额定容量。然而，基于升 / 降压变压器的主要用途和重要性，升 / 降压变压器的一次绕组和二次绕组可以直接相连，组成的单元可作为自耦变压器。通过改变两个一次绕组和两个二次绕组的连接方式，可以获得很多电流比和额定电流。



在许多应用环境下，需要对电压进行轻微调整（上升或者下降）。利用升 / 降压变压器实现电压调整是最经济和最简单的手段之一。当升 / 降压单元用作自耦变压器时，它所带的负载将超过其额定值。载流容量的增加取决于电流比和变压器的电压。

将升 / 降压变压器用作自耦变压器一直困扰着用户。这种困扰的关键在于，当升 / 降压单元作为自耦变压器来使用时，它能够承担的负载将会超过额定值。

铭牌上显示的额定值是其作为隔离变压器时，在线电压为 120V 或者 240V（见图 18-12）的情况下可以连续承载的负载。一次绕组（字母 H）和二次绕组（字母 X）之间没有直接的电气连接。如果使用这种方式，每个绕组必须承载额定负载。

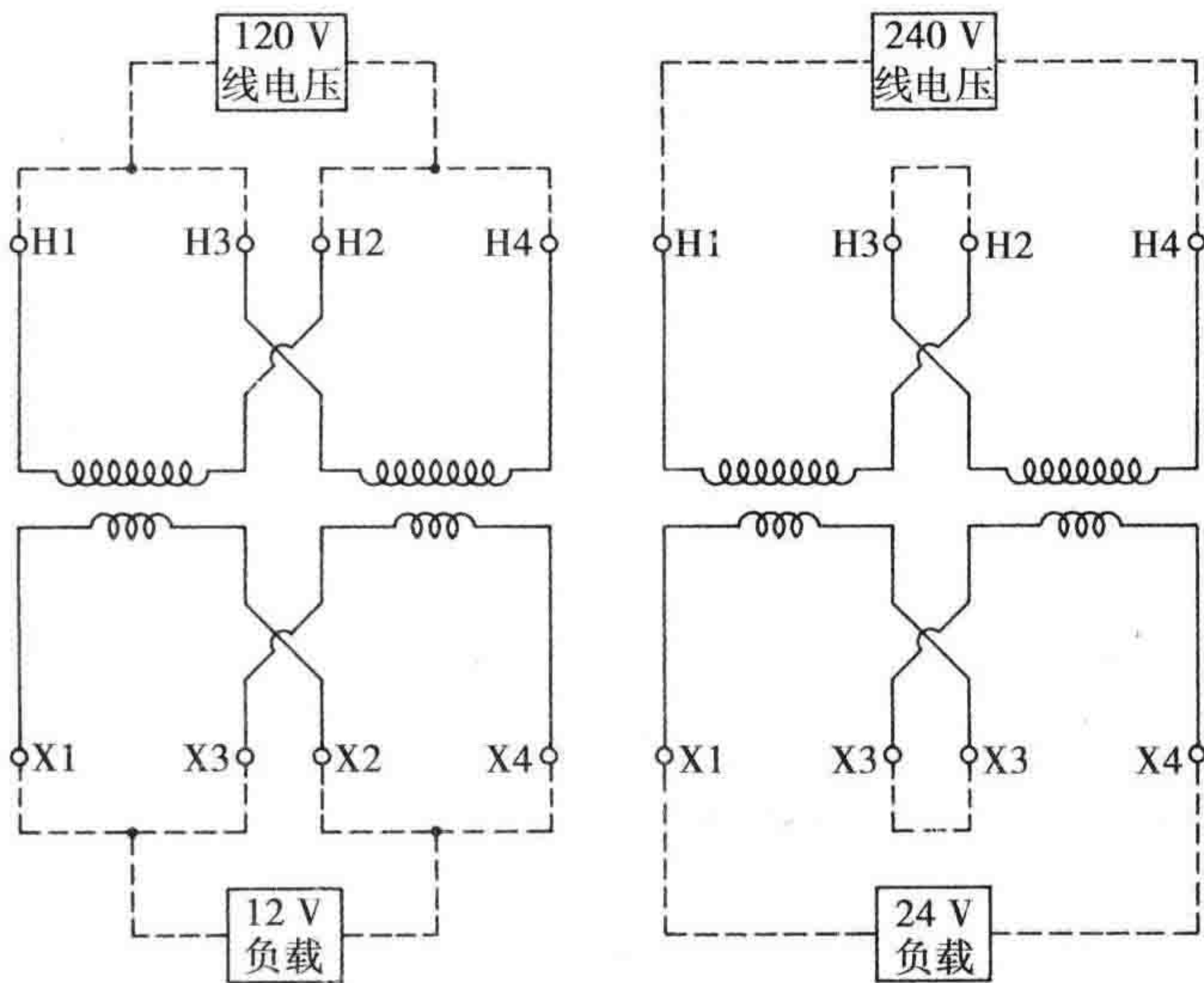


图 18-12 虚线表示用户接线，120V 线电压变为 24V 负载电压（Square D 产品）

图 18-13 给出了升 / 降压变压器作为自耦变压器使用时的接线方式。请注意，在这种情况下，一次绕组（字母 H）和二次绕组（字母 X）的直接电气连接点为 H1-X1。因为一次和二次绕组相互连接，它们共同承担负载，而不是各自承担满负载，所以，变压器所带负载可以大于额定负载。从 H1 到 H4 的每段绕组只承担一次电流和二次电流的差值，因此，允许有较高额定容量的负载。

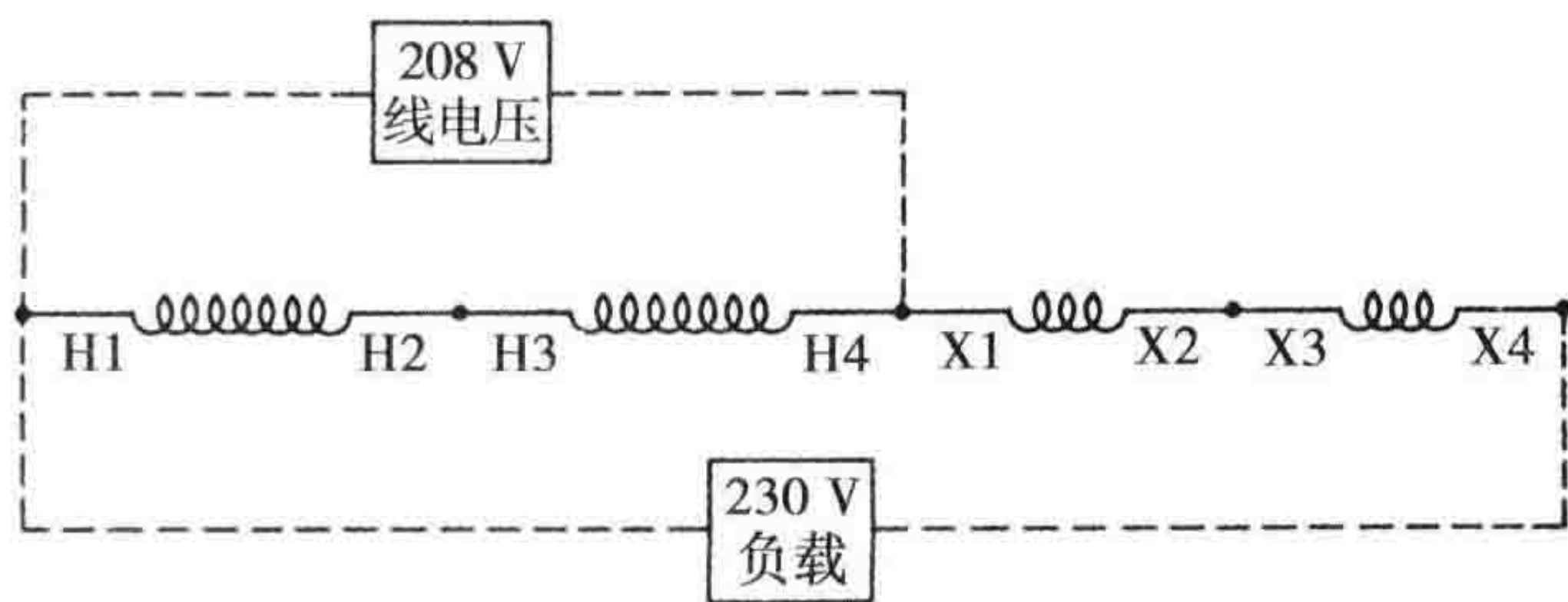


图 18-13 虚线表示用户接线，208 V 线电压变换为 230 V 负载电压（Square D 产品）

18.9.1 计算负载

通过合理地将升 / 降压单元作为自耦变压器来使用，可以既简单又经济地实现小百分比范围内增大或减小线路的电压。根据所需变化的百分比和基准电压，连接一定要合理，请参见图 18-14 的 1~4 所示电路。



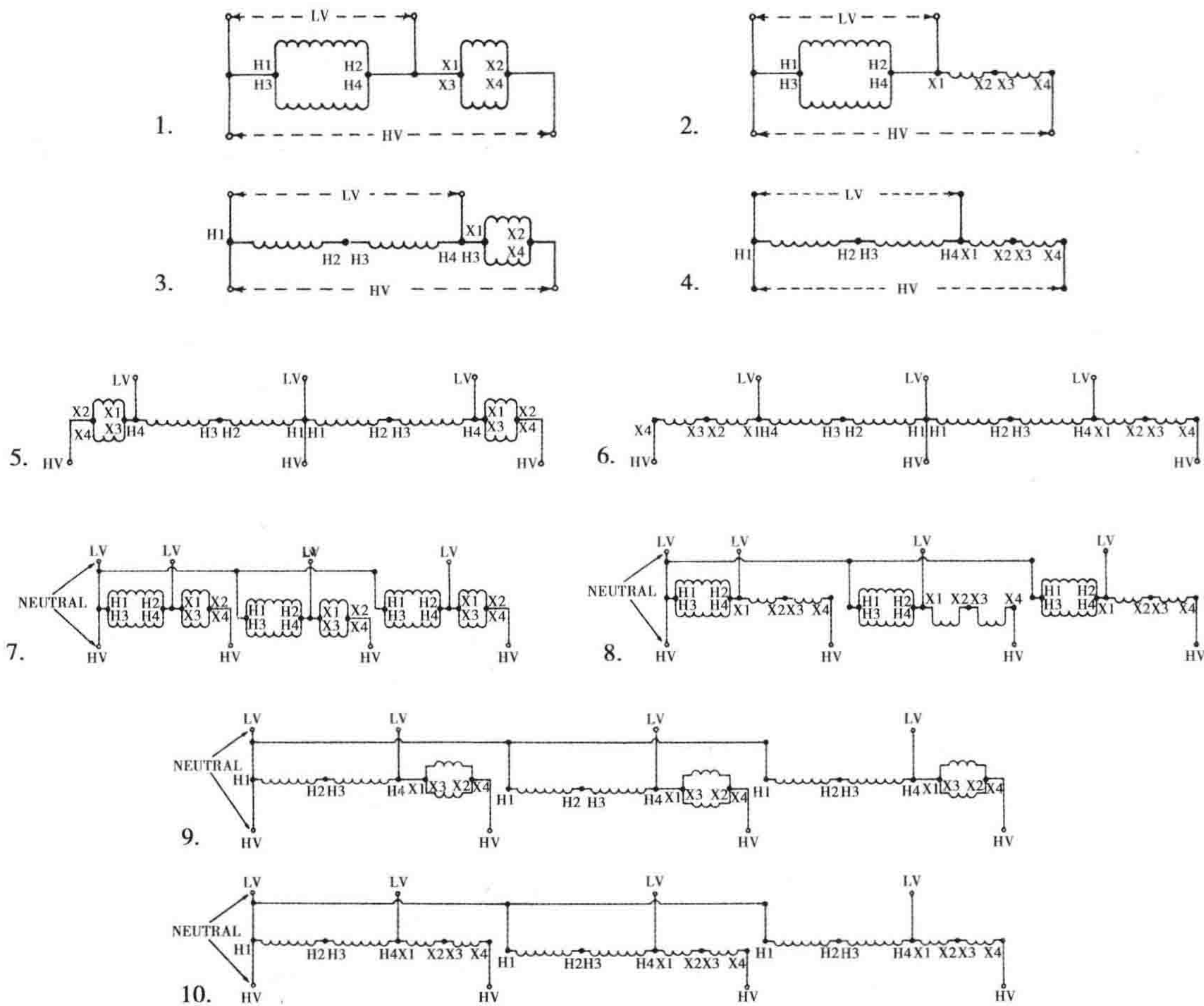


图 18-14 升 / 降压变压器的接线图 (Square D 产品)

下面给出了电压变化的百分比：  
升压：

$$\Delta_{升压} = \frac{\text{高压} - \text{低压}}{\text{低压}} \times 100\%$$

降压：

$$\Delta_{降压} = \frac{\text{高压} - \text{低压}}{\text{高压}} \times 100\%$$

例：  
电压从 207V 升到 230V：

$$\Delta_{升压} = \frac{230 - 207}{207} \times 100\% = 11.1\%$$

18.9.2 计算单相容量

单相容量计算公式为：

$$\frac{\text{电压} \times \text{负载电流}}{1000}$$



### 18.9.3 三相升 / 降压变压器

到目前为止都在讨论单相升 / 降压变压器。图 18-14 所示的 5~10 电路图为三相变压器的各种接线方法。

### 18.9.4 计算三相容量

三相变压器容量的计算公式：

$$\frac{\text{电压} \times \text{负载电流} \times 1.73}{1000}$$

单相变压器使用一个变压器单元。三相变压器使用两个或三个变压器单元来升压或者降压。可将两个单相线圈连成开口三角形为三相负载供电，也可以通过把 3 个单相线圈连接成星形为三相负载供电。

在使用自耦变压器之前，应检查地方规定中对其使用的任何限制。

## 18.10 干式变压器

较新型号的油浸式变压器的油箱里已不再使用 PCB。干式变压器确实有一些优点，而且可以用来取代老式的 PCB 变压器。允许电压高于 600V 的干式变压器应尽量近距离地安放在电气负载中心，以提高电气系统的效率。这将使得线路损耗降低，二次侧系统的投入减少。利用油浸式变压器完成这一点并不实际，这是因为油浸式变压器必须安装在户外，而且要和建筑具有一定的安全距离，或者安装在一个防火地下室里，而这种安装地点通常不能保证最高效率的配电。尽管最近 NEC 允许具有自动喷水灭火保护的油浸式变压器安装在有相对较低防火等级的地下室中，但是很多工程师和用户反对在电气室中安装任何的水管。一些电气室还包含带有发电机的应急配电系统，一旦出现漏水或喷水头出现故障，就可能使整个电力系统瘫痪。

第二种类型的应用是很常见的，就是在屋顶上使用干式变压器。因为它们比相同容量的油浸式变压器轻，所以只需要一个比较轻的屋顶结构。另外，它们不需要为了防止油泄漏或者火灾而采取任何特殊的措施。

干式变压器的另一个主要应用领域是高层建筑，它允许使用高达 15kV 的配电线路将电能经济地分配给各个楼层，然后再利用干式变压器将电压降低到公用电压等级。

由于 PCB 的环境问题而禁用了多氯联苯变压器，所以具有冷却和绝缘性质的新型液体已经被开发出来，并应用于变压器之中了。

NEC 将它们归类为“不易燃”，这意味着它们可能燃烧，但相比于矿物油而言，它们难燃或“不可燃”，也就是说它们不会有火花或火星。对于大部分液体来说，这是一个新的应用，所以几乎没有历史户外数据能够确定在一段时间内某些液体是否会产生一些未知的不能满足需求的特性。图 18-15 给出了封闭式和敞开式的干式变压器。

### 18.10.1 冷却

加装冷却风扇可以增大变压器容量的 33.33%，这是处理短期负载峰值或紧急情况下过载的一种实用方式。风扇可以在购买变压器时加装，或者可以为了将来加装风扇在变压器所在地预留风扇空间。为 300kV·A 和更大容量的变压器加装风扇，一般来说是比较经济实用的。自动风扇冷却系统在三相变压器的每一相或者单相变压器上都有热敏电阻。



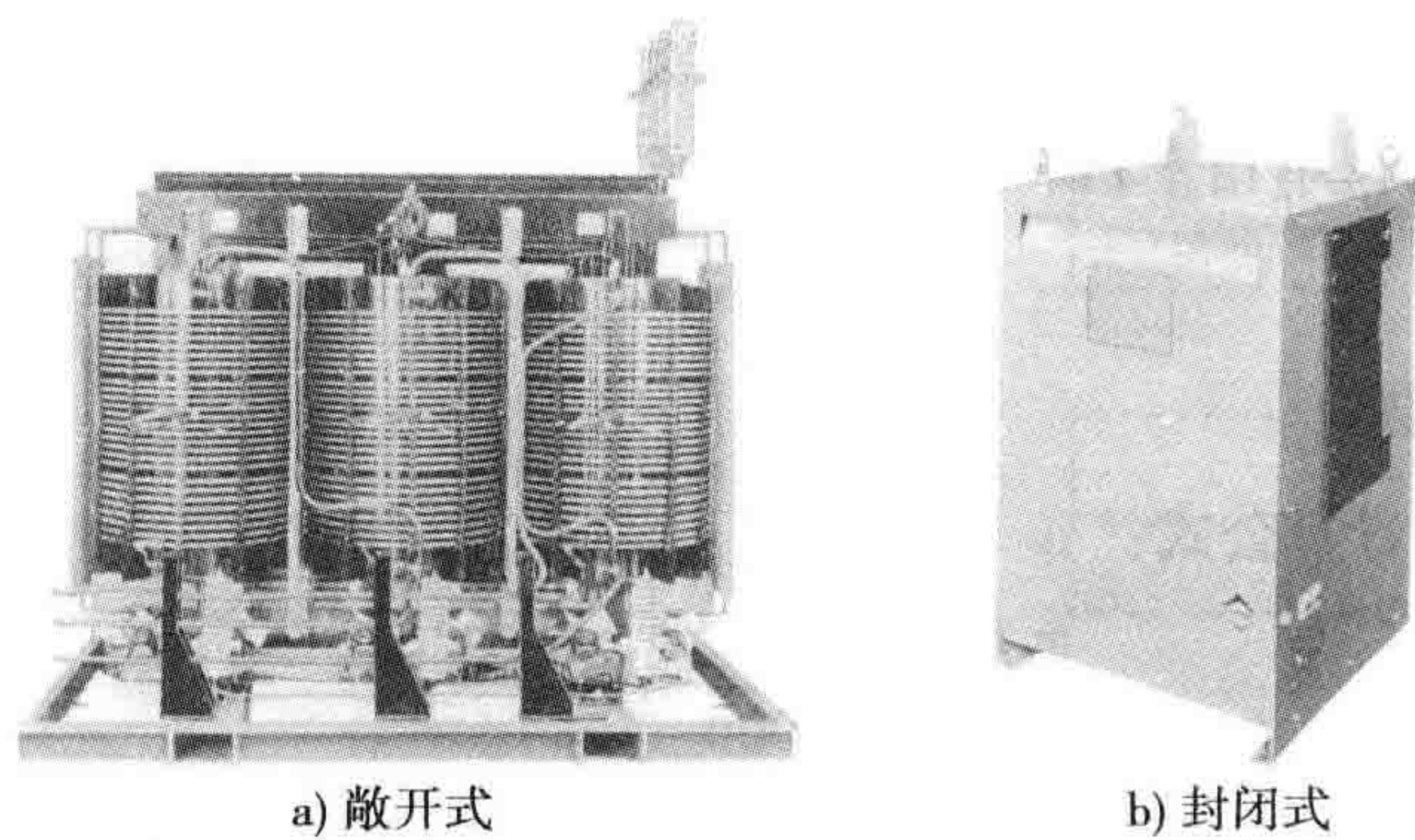


图 18-15 干式变压器 (Square D 产品)

18.10.2 绝缘与温升

对于  $30\text{kV} \cdot \text{A}$  及以上的变压器，许多干式变压器的生产厂家使用 UL 机构认证的  $220^\circ\text{C}$  绝缘系统。 $220^\circ\text{C}$  为绕组的极限温度，是绕组极限温升 ( $150^\circ\text{C}$ ) (由电阻测量)、热差允许值 ( $30^\circ\text{C}$ ) 和环境温度限定值 ( $40^\circ\text{C}$ ) 的总和。 $220^\circ\text{C}$  绝缘系统之前由 NEMA 和 ANSI 命名为 H 绝缘系统，后来放弃字母 H 是为了防止与 UL 的命名相混淆，UL 命名  $220^\circ\text{C}$  系统为 C 绝缘系统。

18.10.3 抽头

包括两个高于正常一次电压和两个低于正常一次电压 2.5% 的抽头。4 个低于正常一次电压 2.5% 的抽头可以从大多数制造商那里获得。

18.11 特种变压器

通风干式户外变压器采用了特殊的百叶挡板防止人为破坏，装配了已经被清洗漆刷过的大尺寸金属薄片。建议定期检查和维护变压器，当然无须检查油或过滤器。此种变压器可用在所有电压高达  $15\text{kV}$ 、容量为  $1500\text{kV} \cdot \text{A}$  的场合 (见图 18-16)。

底座安装式变压器 (干式) 可通风，并有一个  $4160\text{V}$  三角形联结的一次绕组和带有两个 2.5% 抽头的  $208\text{Y}/120\text{V}$  二次绕组 (见图 18-17)。这种类型的箱体可能包含一个一次侧的钩棒操作型开关、变压器及一定数量的二次断路器和隔离开关。所有超过  $600\text{V}$  的户外变压器都要安装避雷装置，保护标准设备免受闪电或者开关冲击的影响。

环氧树脂单元用于变电站中，特别适合用在需要有良好的干式变压器中。绕组完全浸在环氧树脂中，环氧树脂与玻璃纤维布以及扎带构成固体介质系统。固体介质系统保护绕组免受环境中的潮湿气体和空气污染物的影响。这个固体介质系统还具有能够承受温度剧变和短路机械力的能力。它们都是 PCB 变压器理想的替代品 (见图 18-18)。

18.12 液浸式变压器

液浸式变压器 (在中国通常称其为油浸式变压器) 的绕组通过浸入油或有机硅中来提高变压器的效率。液体可以有效地将热量从绕组传递到机箱外面。液体在高电压下具有非常令人满意的绝缘性能。既然 PCB 已经从变压器产品中剔除了，那么就必须确保 PCB 替代物不能污染环境，起到保护环境作用。到目前为止，变压器所用油都和 PCB 油一样耐火。



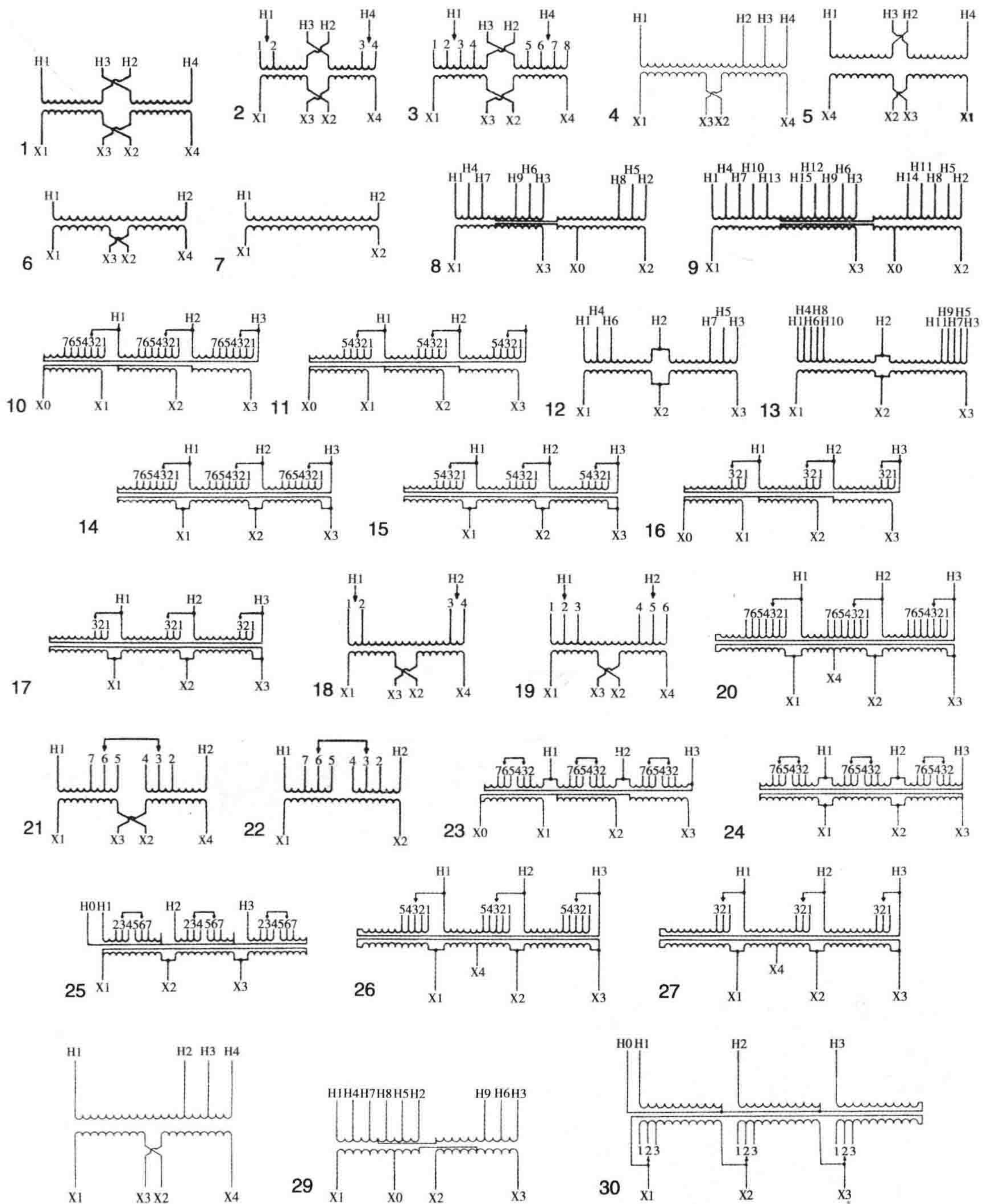


图 18-16 变压器接线图 (Square D 产品)

## 安全公告

请记住，需要接受足够的培训才能操作与维护变压器，因为在通电设备里会产生极度危险的电压。对于变压器及相关的高压设备的使用必须制定培训制度和安全工作规程，这样可以确保人身安全和设备安全。



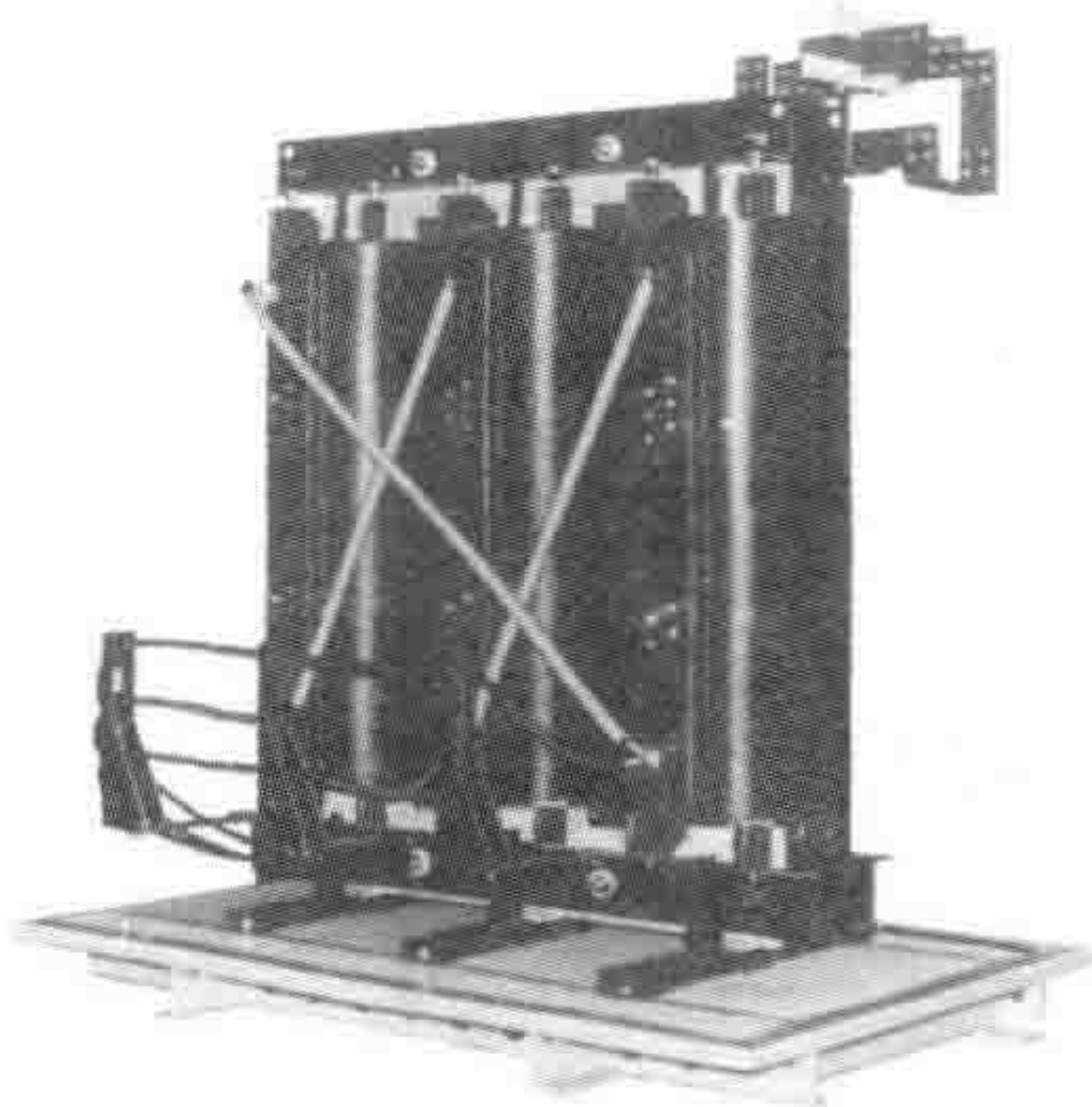
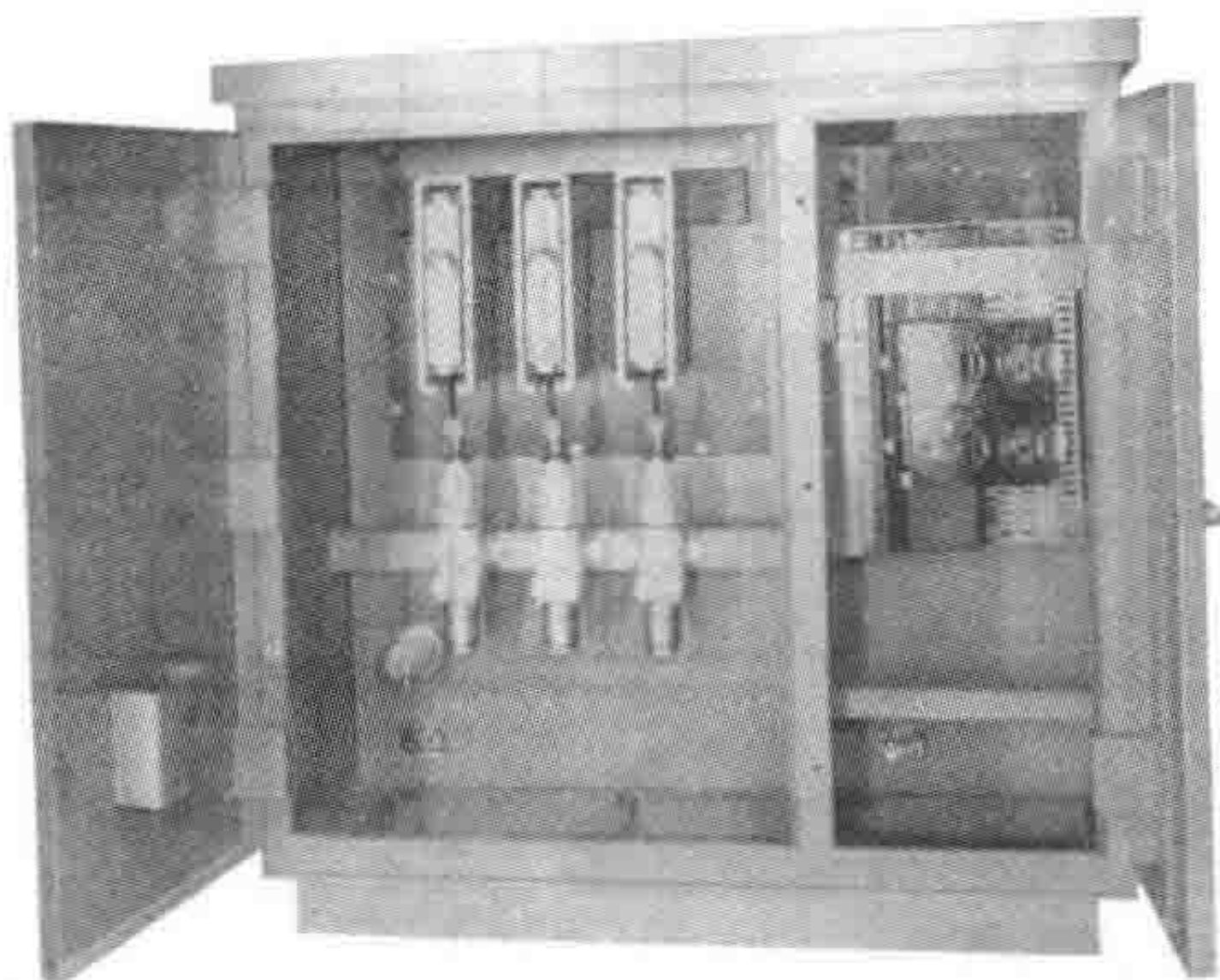
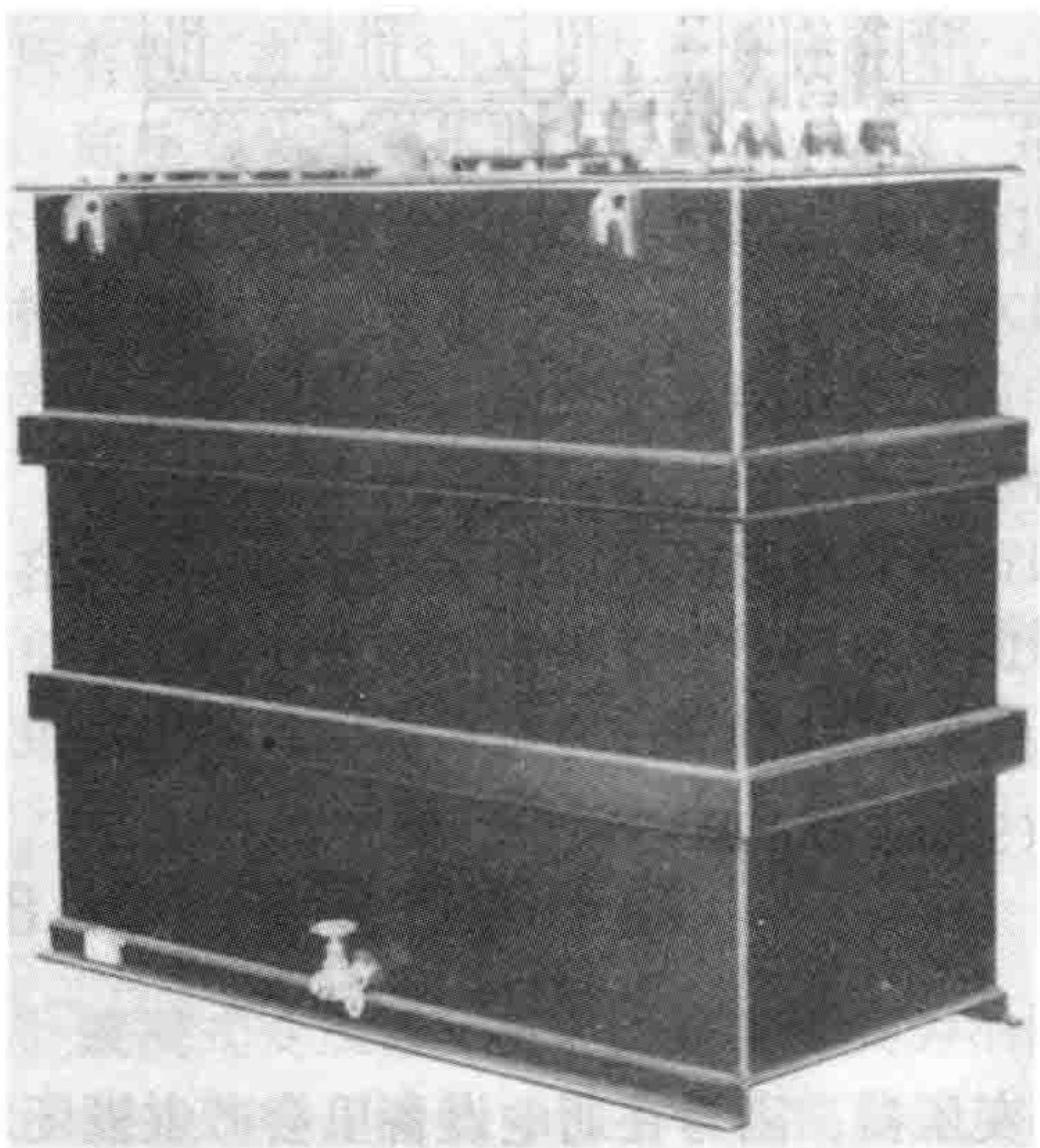


图 18-17 底座安装式干式变压器 (Square D 产品)    图 18-18 三相环氧树脂单元配电变压器 (Square D 产品)

检查变压器油箱及其内部部件的人员需要有特别的作业指导及说明书。

18.13 防水变压器

一些制造商将灰色油漆涂在变压器的表面，另一些制造商则使用绿色（见图 18-19）。这些三相变压器包括铁心和线圈组件，它们会尽量减少运行损失，并在系统故障发生时提供足够的机械强度。75~5000kV·A 铁心线圈组件具有 5 个绕线式柱状铁心（见图 18-20）。通过使用这 5 个柱状铁心，消除了在短路状况下杂散磁路引起油箱发热的可能。计算机设计技术能帮助生产出具有最经济运行特性的铁心线圈组件，从而使其达到高效和低损耗。利用铝条制作的二次绕组能够提供高轴向短路强度和快速线圈散热。



SQUARE D COMPANY

适用于地下变电站的变压器

KVA <input type="text"/>	Continuous	Class <input type="text"/>	<input type="text"/> °C Rise
Pri. Volts <input type="text"/>		Three Phase <input type="text"/>	Hertz <input type="text"/>
Sec. Volts <input type="text"/>		Serial Number <input type="text"/>	
Instr. Book <input type="text"/>		Impedance At <input type="text"/> °C	
Impulse Level Full Wave		<input type="text"/> %OA Rating	
Test Pri Volts <input type="text"/>	KV Bil	Ld Brk Sw Volts <input type="text"/>	Bil <input type="text"/>
Sec. Volts <input type="text"/>	KV Bil	Sw Continuous Amps <input type="text"/>	
Liquid Type <input type="text"/>		Sw Momentary Amps <input type="text"/>	
Max Operating Pressure: <input type="text"/> psi		Close & Hold Amps <input type="text"/>	
<input type="text"/> Gals <input type="text"/> Lbs		Tap Connects	Volts Amps
Core & Coils: <input type="text"/> Lbs		A 1 TO 2	<input type="text"/>
Tank <input type="text"/> Lbs		B 2 TO 3	<input type="text"/>
Total Weight <input type="text"/> Lbs		C 3 TO 4	<input type="text"/>
Untanking Hgt <input type="text"/> Ins		D 4 TO 5	<input type="text"/>
Mfg Date <input type="text"/>		E 5 TO 6	<input type="text"/>

注意

只能用上述绝缘液体类型  
改变分接头前必须断电

MADE IN U.S.A.

43504 004 05

图 18-19 三相液浸式防水小功率变压器 (Square D 产品)



维护

漏油比较少见，但如果检测到，必须马上修理，以免液面降低到带电部分形成飞弧或油箱过热。如果需要，必须再注入油到恰当的操作液位。在外部金属、焊缝或其他地方出现细小针孔会导致缓慢滴漏，可以用寿命持久的环氧树脂进行修补。变压器必须先断电，然后使用临时油道撑条封堵，再用环氧树脂修补。通常情况下，在环氧树脂固化时无须使用真空泵来阻止漏油，但对于较大规模的渗漏可能需要使用真空泵。保持液面高度和预防油泄漏的主要目的是阻止水进入油箱。水在高电压时会引起故障，也会导致油污染，因此有必要将其拆除和更换。图 18-21 显示了液浸式配电变压器的所有部件。请注意观察泄压装置、注油塞、液位计、表盘式温度计、铭牌和排液阀的位置。背面的散热片用于冷却从上到下流过管子的液体。热油在油箱中上升并进入位于散热片顶部的管子内。当它流下的时候，它会被外面的空气冷却。一旦冷却，它重新进入底部的油箱再次吸收多余的热量，并将热量传导到油箱外部，使热量远离内部线圈及铁心。

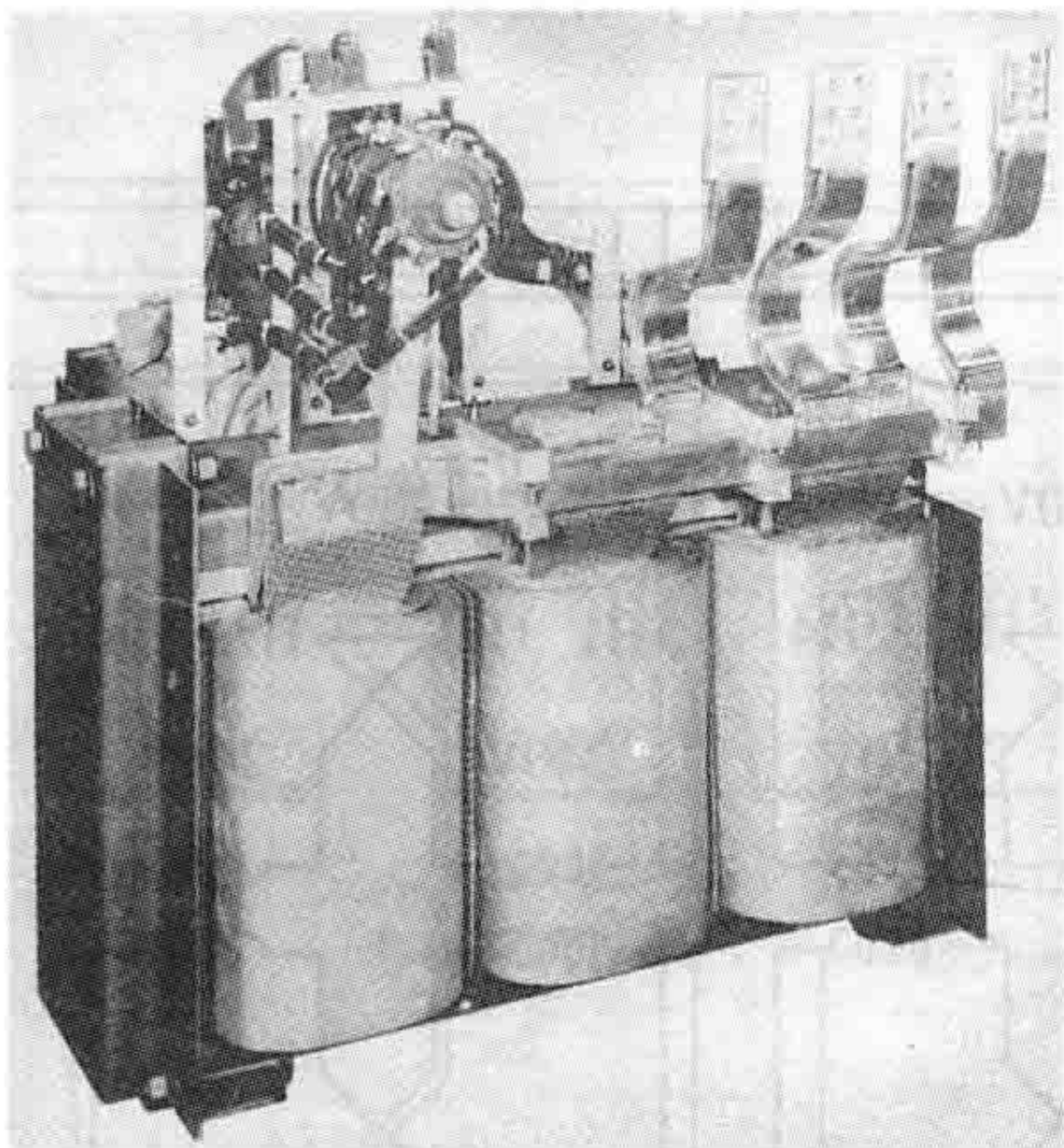


图 18-20 底座安装液浸隔室型变压器 (Square D 产品)

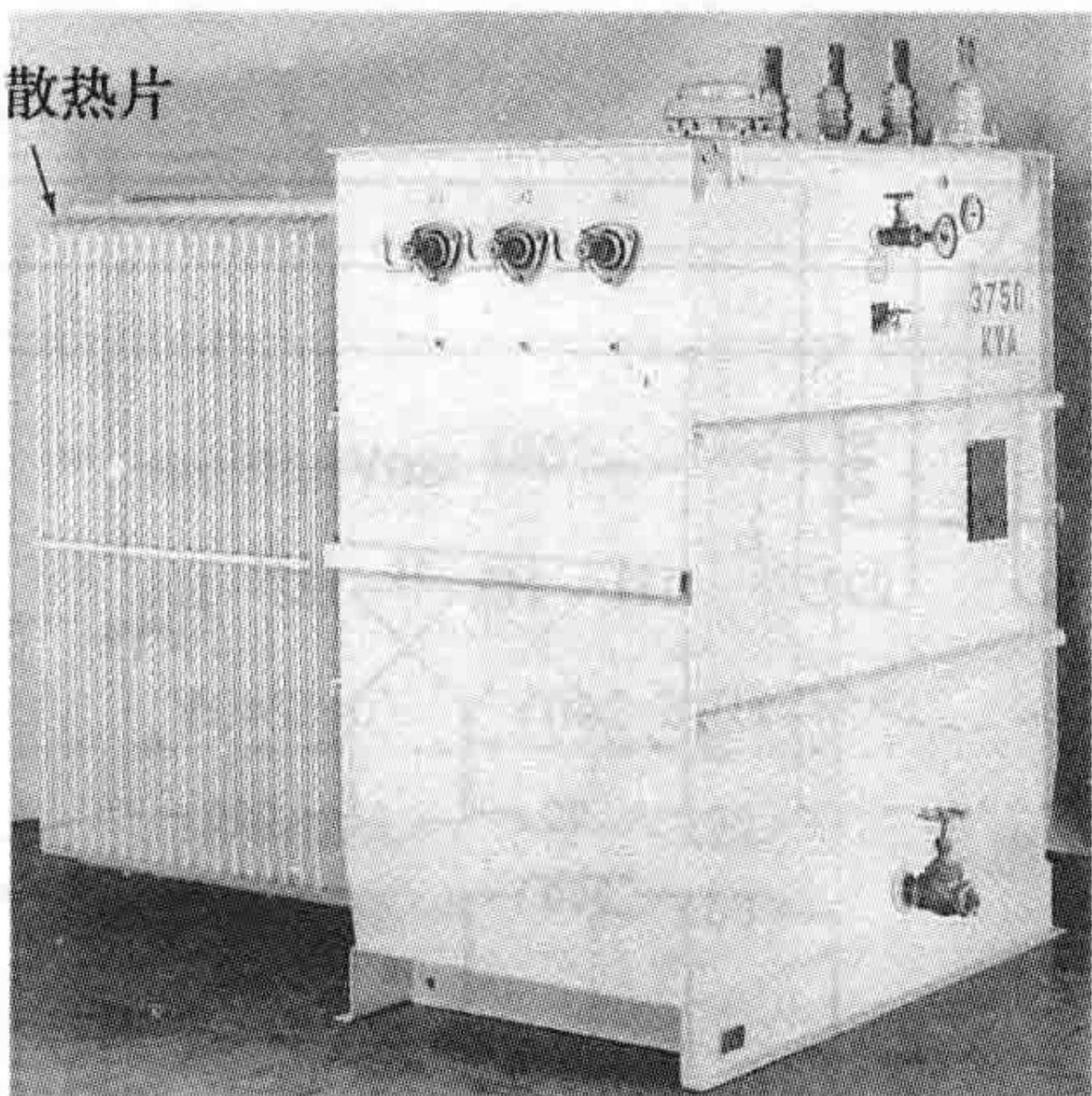


图 18-21 三相液浸式配电变压器 (Square D 产品)

18.14 变压器的应用

变压器在商业、工业以及学校和家庭中得到了广泛应用。就如在本章已经见到过的一样，变压器有很多种规格和形状。本章的后续部分将会讨论 6 种典型安装和工业应用。

18.14.1 高压配电

变压器可用于 480V 或 600V 的配电，并在接近用电设备使用区域时降低电压（如 240V 电动机或 120V 设备和灯）。这样便于电压管理，可以使线损达到最小，而且降低了布线成本。这些要点的图例请参阅图 18-22。

18.14.2 消除双配电线

变压器能够消除双配电线。为了最大程度的安全，120V 照明电路和控制电路可以由 240V、480V 或者 600V 电源来供电，而这样的电源则可通过与负载距离位置十分恰当的干式变压器实现。由此淘汰了电力负载和照明负载独立供电的电路，也解决了动力和照明单独计量电量问题，通常会节省大量投资。示例请参阅图 18-23。



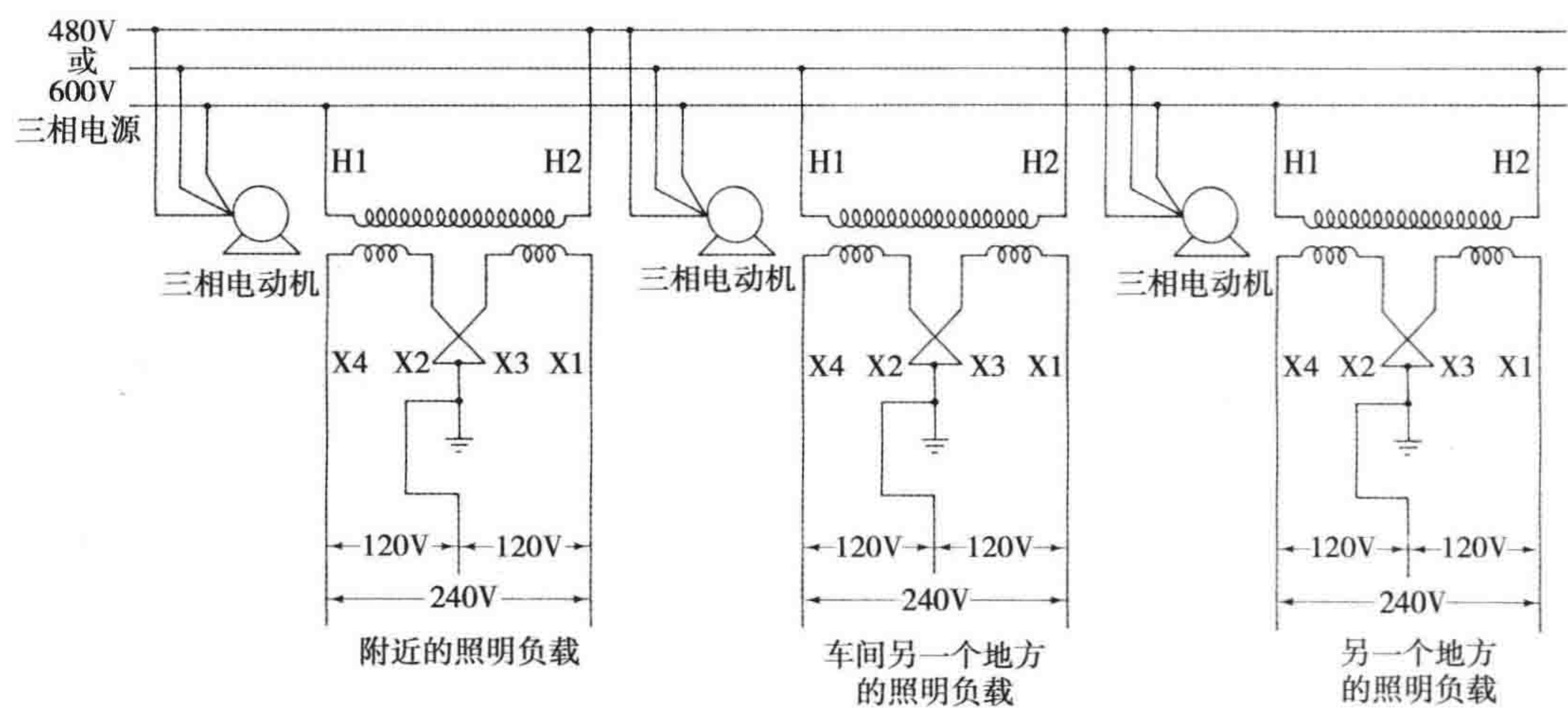


图 18-22 三相高压电源系统中 120V/240V 单相负载

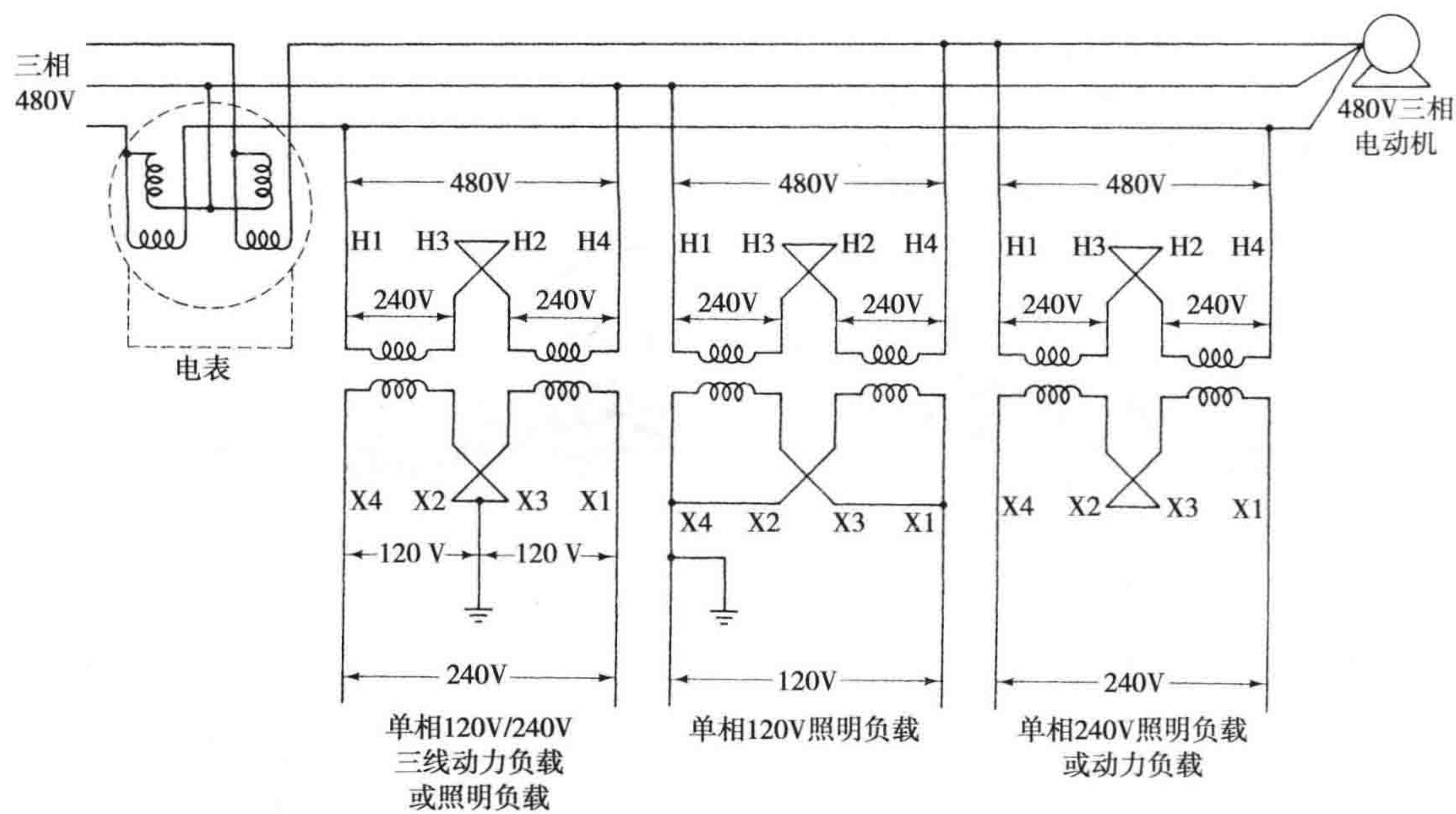


图 18-23 由三相电源供电的 120 V 照明和控制电路

18.14.3 120V/240V 设备的供电

变压器可为便携式工具、电气控制设备、报警设备、继电器、电烙铁、加热壶、小型加热炉、板凳焊工及其他大电流设备提供电源，通过干式变压器将高压转换为 120V/240V 电压进行供电更为经济（见图 18-24）。

18.14.4 隔离电路

变压器可对电路进行隔离，具有这种性能的变压器可以是风冷变压器，它们作为分割电路的一种手段，以满足独立电路的需求。



干式变压器可以接到三相 480V 电路上，并为 120V/240V 照明负载提供三线单相电源。它们也可以为 120V 单相照明负载或 240V 单相照明或动力负载提供电源。变压器允许每个低压电路接地（见图 18-25）。

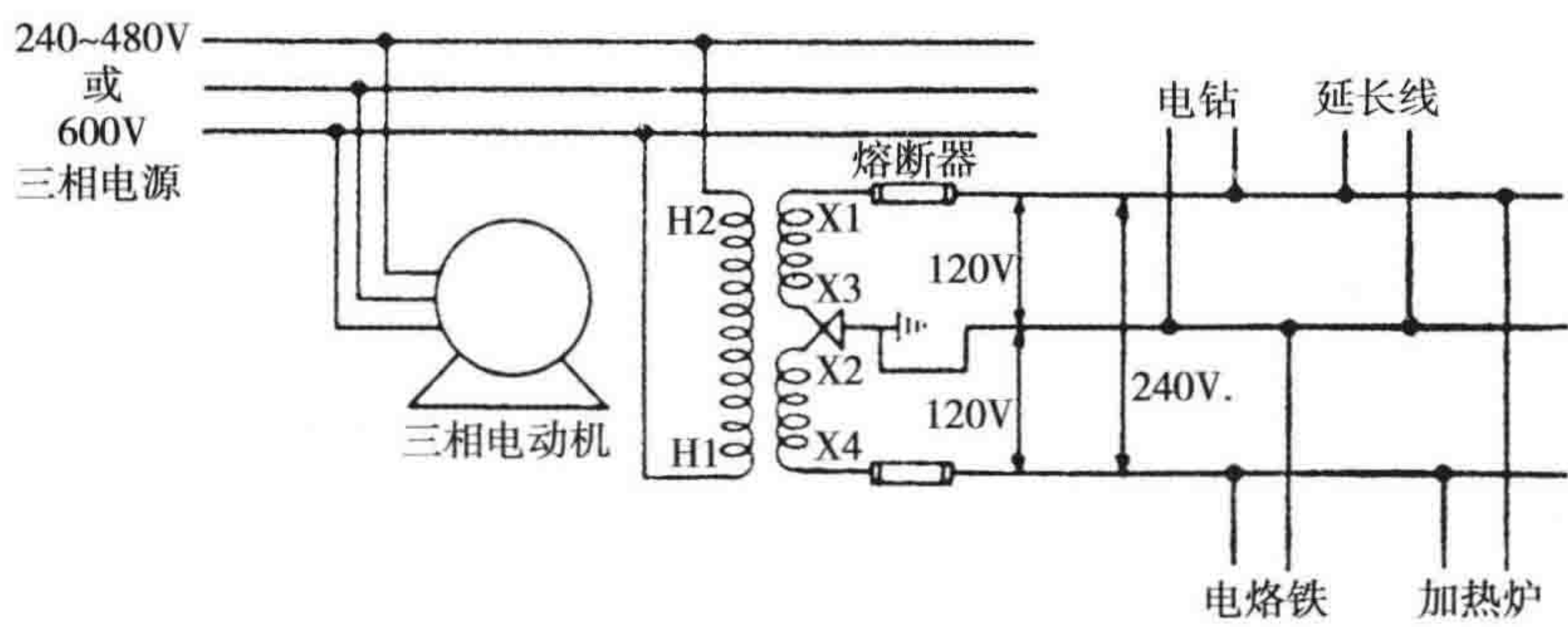


图 18-24 源于三相 240V/480V 或 600V 电源的 120V/240V 单相电源

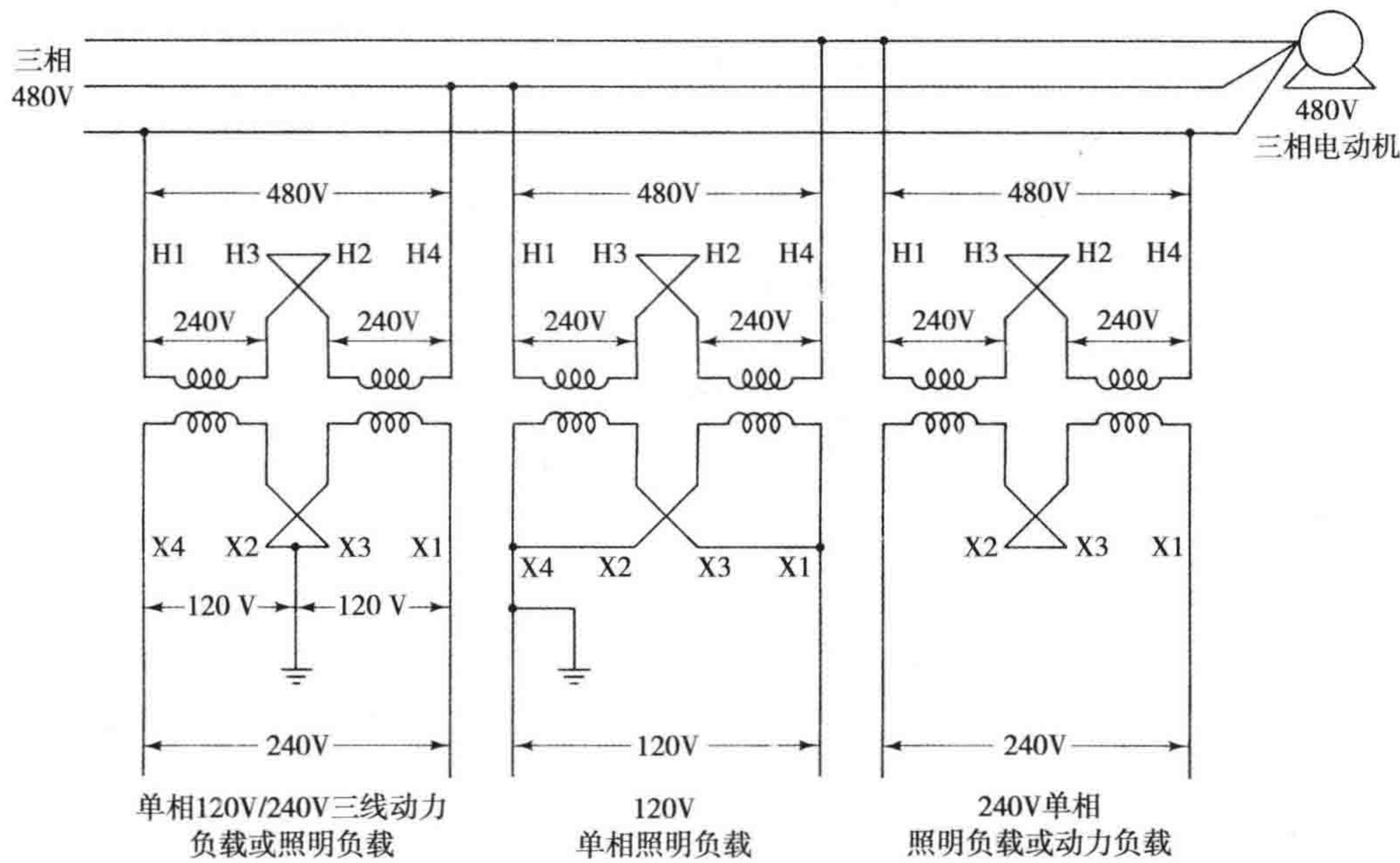


图 18-25 细分电路

18.14.5 从四线制电路变换为三线制电路

变压器可以生成三线 120V/240V 单相电路，该电路是通过四线 208Y/120V 三相电源中的 120V 双线电路来获得的。三相变压器一次侧的 240V、480V 或者 600V 可以提供一個单相三线的 120V/240V 电路（见图 18-26）。

18.14.6 升压或降压

变压器通过一次绕组和二次绕组的匝数比即可简单实现升压或者降压（见图 18-27）。无论电源电压是低于还是高于设备负载所需的电压，都可以使用升 / 降压变压器。



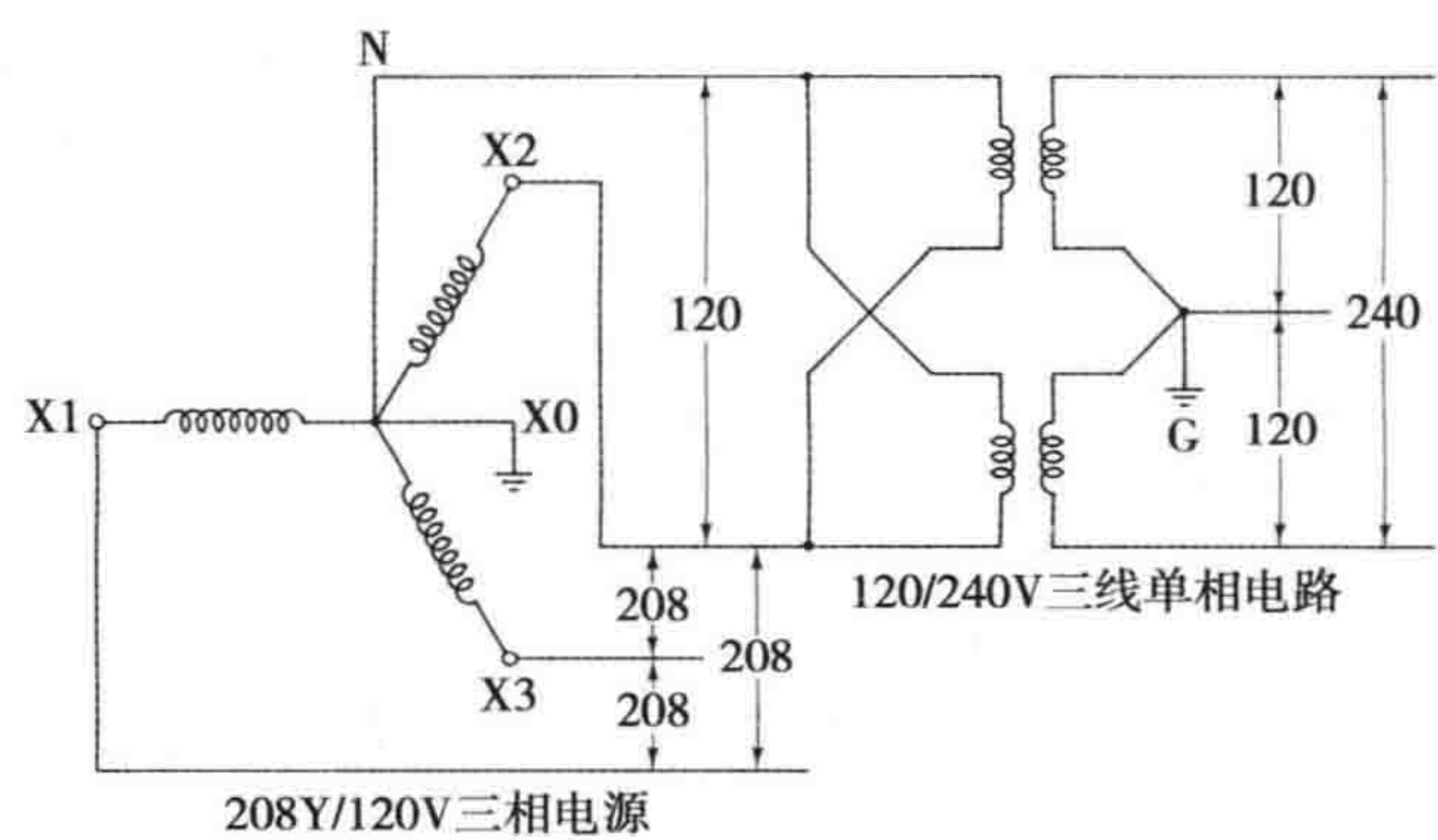


图 18-26 由四线三相电源获取三线二次侧电路

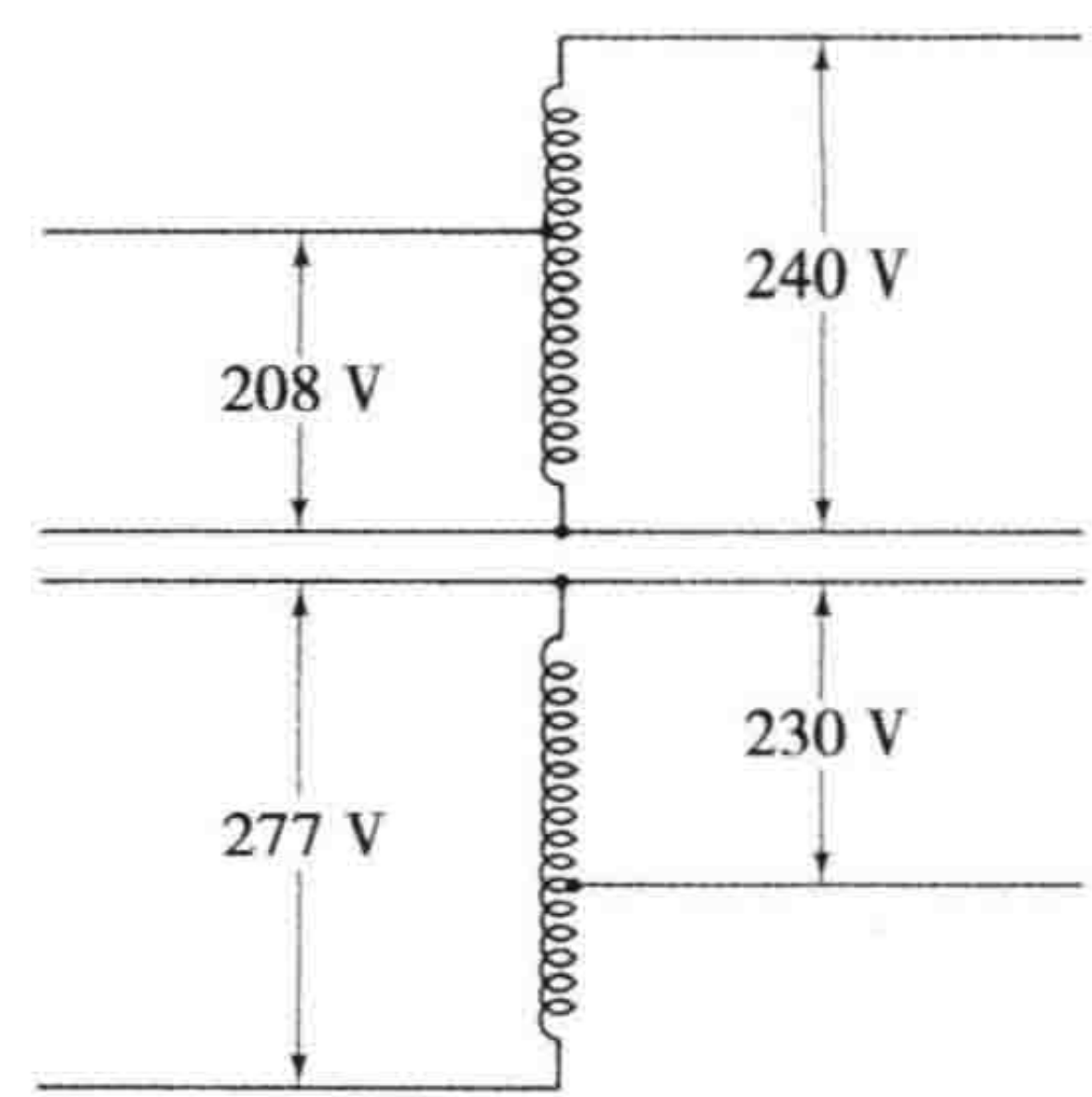


图 18-27 升 / 降压变压器

18.15 电动机变压器

为了电动机的运行，利用变压器获取合适的电压是非常有必要的。表 18-4 给出了在标准电压和 60Hz 下不同规格的感应电动机在正常运行时所需的变压器额定容量，表 18-5 给出了马力与千瓦之间的单位换算，表 18-6 显示了具有错误电压等级的工厂会发生什么情况。

表 18-4 标准电压下不同规格的感应电动机在正常运行时所需要的变压器额定容量

交流电动机	hp	满载电流				最小线径 <sup>①</sup>				变压器最小容量 (kV·A) <sup>②</sup>
		115 V	220V	230V	440V	115V	230V	230V	440V	
单相	$\frac{1}{6}$	4.4		2.2		14		14		0.53
	$\frac{1}{4}$	5.8		2.9		14		14		0.70
	$\frac{1}{3}$	7.2		3.6		14		14		0.87
	$\frac{1}{2}$	9.8		4.9		14		14		1.18
	$\frac{3}{4}$	13.8		6.9		14		14		1.66
	1	16		8		12		14		1.92
	$1\frac{1}{2}$	20		10		12		14		2.4
	2	24		12		10		14		2.88
	3	34		17		8		12		4.1
	5	56		28		6		10		6.72
	$7\frac{1}{2}$	60		40		3		8		9.6
	10	100		50		1		6		12
三相	$\frac{1}{2}$			2	1		14		14	0.9
	$\frac{3}{4}$			2.8	1.4		14		14	1.2
	1			3.5	1.8		14		14	1.5
	$1\frac{1}{2}$			5	2.5		14		14	2.1
	2			6.5	3.3		14		14	2.7
	3			9	4.5		14		14	3.8
	5			15	7.5		14		14	6.3



(续)

交流电动机	hp	满载电流				最小线径 <sup>①</sup>				变压器 最小容量 (kV·A) <sup>②</sup>
		115 V	220V	230V	440V	115V	230V	230V	440V	
三相	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>			22	11		10		14	9.2
	10			27	14		10		14	11.2
	15			40	20		8		12	16.6
	20			52	26		6		10	21.6
	25			64	32		4		8	26.6
	30			78	39		3		8	32.4
	40			104	52		1		6	43.2
	50			125	63		0		4	52.0

来源：Square D 公司。

- ① 电缆或电缆管道中不能多于三根导线。  
② 如果电动机每小时起动超过 1 次，那么变压器允许增大 20%。

上述数据是根据 NEC 的标准电动机数据计算出的结果，这仅仅是个估计值，对于 OEM 应用，一定要准确核实实际的要求。

表 18-5 马力 (hp) 与千瓦 (kW) 之间的单位换算表

kW 转换为 hp				hp 转换为 kW			
kW	hp	kW	hp	hp	kW	hp	kW
1	1.341	55	73.733	1	0.746	55	41.03
2	2.681	60	80.436	2	1.492	60	4.76
3	4.022	65	87.139	3	2.238	65	48.49
4	5.363	70	93.842	4	2.984	70	52.22
5	6.703	75	100.545	5	3.730	75	55.95
6	8.044	80	107.248	6	4.476	80	59.68
7	9.384	85	113.951	7	5.222	85	63.41
8	10.725	90	120.654	8	5.968	90	67.14
9	12.065	95	127.357	9	6.714	95	70.87
10	13.406	100	134.048	10	7.460	100	74.60
11	14.747	110	147.47	11	8.206	110	82.06
12	16.087	120	160.87	12	8.952	120	89.52
13	17.428	130	174.28	13	9.698	130	96.98
14	17.768	140	187.68	14	10.444	140	104.44
15	20.109	150	201.09	15	11.190	150	111.90
16	21.450	160	214.50	16	11.936	160	119.36
17	22.790	170	227.90	17	12.682	170	126.82
18	24.131	180	241.31	18	13.428	180	134.28
19	25.471	190	254.71	19	14.174	190	141.74
20	26.812	200	268.12	20	14.920	200	149.20
22	29.493	220	294.93	22	16.412	220	164.12
24	32.174	240	321.74	24	17.904	240	179.04
26	34.856	260	348.56	26	19.396	260	193.96



(续)

kW 转换为 hp				hp 转换为 kW			
kW	hp	kW	hp	hp	kW	hp	kW
28	37.537	280	375.37	28	20.888	280	208.88
30	40.218	300	402.18	30	22.380	300	233.80
32	42.899	325	435.69	32	23.872	325	242.45
34	45.580	350	469.21	34	25.364	350	261.1
36	48.261	400	436.24	36	26.856	400	298.4
38	50.943	450	603.27	38	28.348	450	335.7
40	53.624	500	670.30	40	29.840	500	373.0
42	56.305	600	804.36	42	21.332	600	447.6
44	58.986	700	938.42	44	32.824	700	522.2
46	61.667	800	1072.48	46	34.316	800	596.8
48	64.349	900	1206.54	48	35.808	900	671.4
50	67.030	1000	1340.60	50	37.300	1000	746.0

来源：Square D 公司。  
注：对表中给定值进行相加可得到表中没有提到的换算值。

表 18-6 不正确的电压等级影响设备性能

电动机	电压降低 10%，转矩减小 19%，电动机温度升高，缩短电动机寿命	当存在 10% 过电压时，启动电流（冲击电流导致电压下降）增大 12%，功率因数降低 5%
整流器负载： 电镀、电池充电器、起重机的静态直流电源、直流电动机、电磁吸盘、除尘器	低于正常电压 10%，会使电镀沉积率下降 10%~20%，电池充电速度减慢 15%~25%；除尘器功率减少 20%；电磁吸盘保持力降低 19%	当运行电压超过 10% 时，整流器要承担小于 50% 的冲击电压
磁力装置： 螺线管的吸进和排出、振动给料机、磁力制动器、电磁阀、电动机启动接触器、交流继电器	降低 10% 的电压，螺线管会花费较长时间打开阀门、弹出部件、闭合继电器、闭合起动机。继电器的吸合力按电压平方变化，电压下降会引起继电器振动，较小的电压下降将使接触器停止工作	螺线管表面磨损与扭曲较大，螺线管铁心趋于饱和，与之相关的运行电流迅速增大，并产生发热现象

来源：Square D 公司。

18.16 谐波抑制变压器和线路电抗器

18.16.1 谐波抑制变压器

非线性负载会产生高次谐波电流，这些电流将反馈回配电系统中引起波形失真。这种现象可能引起电动机和变压器过热以及中性线电流增大，这可以导致故障和（或）损坏线路上的设备。图 18-28 所示为封闭式谐波抑制变压器，一次绕组为 480V 三角形联结，208Y/120V 二次绕组输出。

变压器从设计上可阻止谐波沿着配电线路传输。常见的变压器系数  $K$  反映了对谐波的处理能力，并将谐波控制在变压器内部，从而防止谐波出现在传输线路上。

谐波抑制变压器通过其自身的结构设计可将谐波控制在变压器内部，从而削弱传输到线路上的谐波，由此提供了干净的电源，提高了整个系统的能源效率。

18.16.2 线路电抗器

线路电抗器看起来像变压器（见图 18-29）。它们有助于预防设备故障和减少停机时间，从



而提高电气设备的使用寿命。它们设计用来保护直流电动机驱动设备、交流变频设备和电动机。线路电抗器广泛用于造纸机、生产线、压力控制和驱动系统，以及管磨机和其他复杂的工艺设备中。这些电抗器还在食品工业、饮料灌装、纸张生产、包装系统与印刷设备中得到应用。

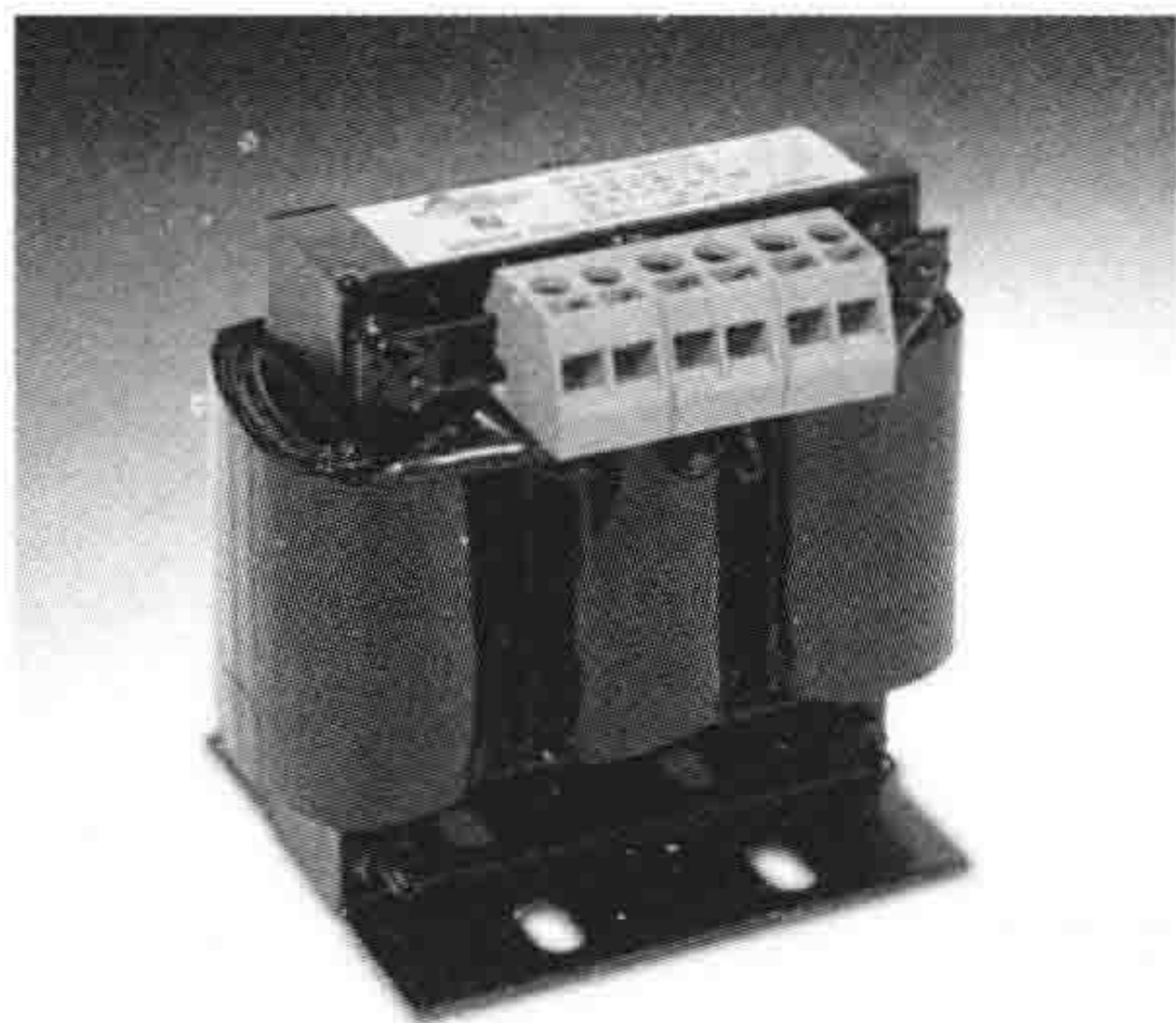
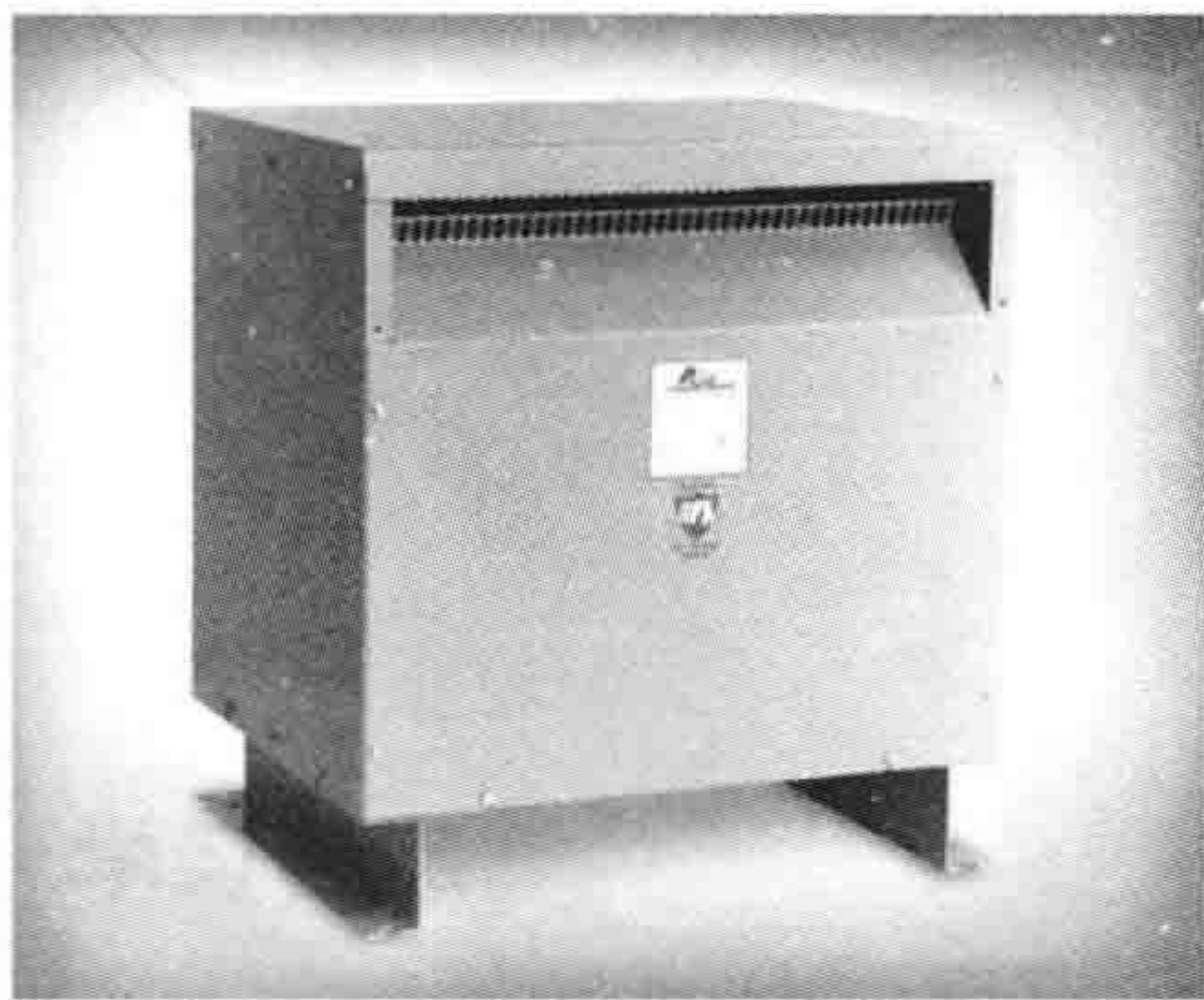


图 18-28 谐波抑制变压器 (Acme Electric 产品)    图 18-29 线路电抗器 (Acme Electric 产品)

**线路电抗器和负载电抗器的用途** 当公用供电线路通过开关接通或者断开时会产生暂态，因此为了消除暂态分量引起的断路器跳闸现象，需要安装线路电抗器。驱动系统的接通与断开会产生谐波，线路电抗器可以消除这些谐波，有助于电动机在无干扰情况下运行，延长电动机寿命。如今的开关设备，装有固态跳闸传感装置，该装置通过检测峰值电流给出反应，注意此处的电流不是电流有效值。因为开关暂态能使峰值电压超过 1000V，因此过电压将会导致意外断电。线路电抗器还可以通过削弱这些干扰来延长固态器件的寿命。

18.17 思考题

1. 变压器的效率如何？

2. 什么是升 / 降压变压器？

3. 为什么在变压器中涡流是不需要的？

4. 什么是磁滞现象？

5. 如何使磁滞损耗最小？

6. 如何使变压器铜损最小？

7. 为什么在变压器中使用 PCB？

8. 在 1990 年 10 月 1 日发生了什么影响变压器的事件？

9. 什么是三次谐波？

10. 为什么在某些情况下干式变压器比油浸式变压器好？

11. 如何将变压器的容量增加 33%？
12. 如何使用环氧树脂变压器？

13. 变压器的哪一侧是一次侧？

14. 什么是感应电压？

15. 什么是互感？

16. 如果你知道二次电压、一次电压和一次侧线圈的匝数，那么如何确定变压器二次侧线圈的匝数？

17. 什么是自耦变压器？

18. 什么限制了自耦变压器的使用？

19. 什么产生了变压器的最大损耗？

20. 通过管式冷却器循环的物质是什么？

18.18 练习题

在任何电气系统中变压器都是非常重要的一部分。使用它们可以确保在需要的地方有正确的电压和正确的电流。快速复习匝数比和一些变压器相关系数是很有用的。

1. 当连接到频率为 60 Hz，电压为 120 V 的电路上时，一个 24 V 变压器为 24V 螺线管提供 4A

- 的电流。请问：当二次绕组电流为 4A 时，变压器一次电流需要多大？
2. 当变压器的一次绕组连接到 120V 电源上，二次绕组提供 12V 电压、12A 电流时，一次电流是多大？假定变压器效率为 98%。
3. 如果升压变压器的匝数比是 1:5，那么，当它的



一次侧接到 120V、60Hz 电源上时它的二次电压为多大？

4. 一个 16 V 的变压器为一个时钟提供 1A 的电流。如果一次电压是 120V，那么一次电流是多少？
5. 如果 64V · A 变压器的二次额定电流为 4A，那

么你能使用的电压为多大？

6. 一个升压变压器在 250mA 电流下有 600V 电压输出。请问：如果输入电压为 120V，那么一次电流需要多大才能在二次侧电路中产生 250mA 的电流？



# 第 19 章

## 发 电

### 19.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 绘制一个正弦波。
2. 识别交流发电机的组成部件。
3. 画出单相、两相和三相发电机的输出波形。
4. 解释励磁机的必要性。
5. 绘制 Y/Y 联结。
6. 描述交流发电机的输出频率是如何决定的。
7. 画出一个转接开关电路。
8. 描述自动转接开关的工作原理。
9. 解释两种 UPS 系统的区别。
10. 描述并联多电源系统。
11. 定义热电联产。
12. 解释调峰。

### 19.2 基本原则

交流发电机中电动势产生的基本原理与直流发电机一样。电枢导体中电动势的产生完全取决于导体和磁场之间的相对运动。有两种可能存在的构造：一种是磁场固定、电枢旋转，这种情况下磁场称为定子，电枢称为转子；另一种是磁场旋转、电枢固定，这种情况下磁场称为转子，电枢称为定子。

在几乎所有的直流发电机中，磁场都是静止的、电枢是旋转的。但在几乎所有的交流发电机中，磁场都是旋转的、电枢是静止的。后一种构造提供了一些优势。旋转电枢需要集电环向外部负载输送电流，它们经常会成为导致开路 and 短路故障的源头。静止的电枢不需要集电环，因此电枢引出线可以从电枢线圈到母线都是连续绝缘的导线。由于旋转离心力的作用，旋转电枢中的导体比静止电枢中的导体更难绝缘。此外，相比于直流发电机，静止电枢允许交流发电机可以在更高的电压下运行。

因为交流电动机必须有交流电源才能工作，因此，对所有为交流电动机的运行提供动力的设备进行严格的检查是十分重要的。图 19-1 所示为交流发电机的简图。这种发电机的一些特点对于所有交流发电机的设计都是最基本的。需要特别注意观察导线回路如何在磁场中旋转产生正弦波输出。



正弦波

这种发电机产生的电压是交流电压。线圈旋转一周会产生 1Hz 的电压，也就是说，电压从零增加到最大值然后下降到零，然后在相反的方向上增长到最大值，最后降至零，从而完成 1Hz 或一个周期。这种 1Hz 的交变电流或电压可以用正弦波表示出来（见图 19-2）。

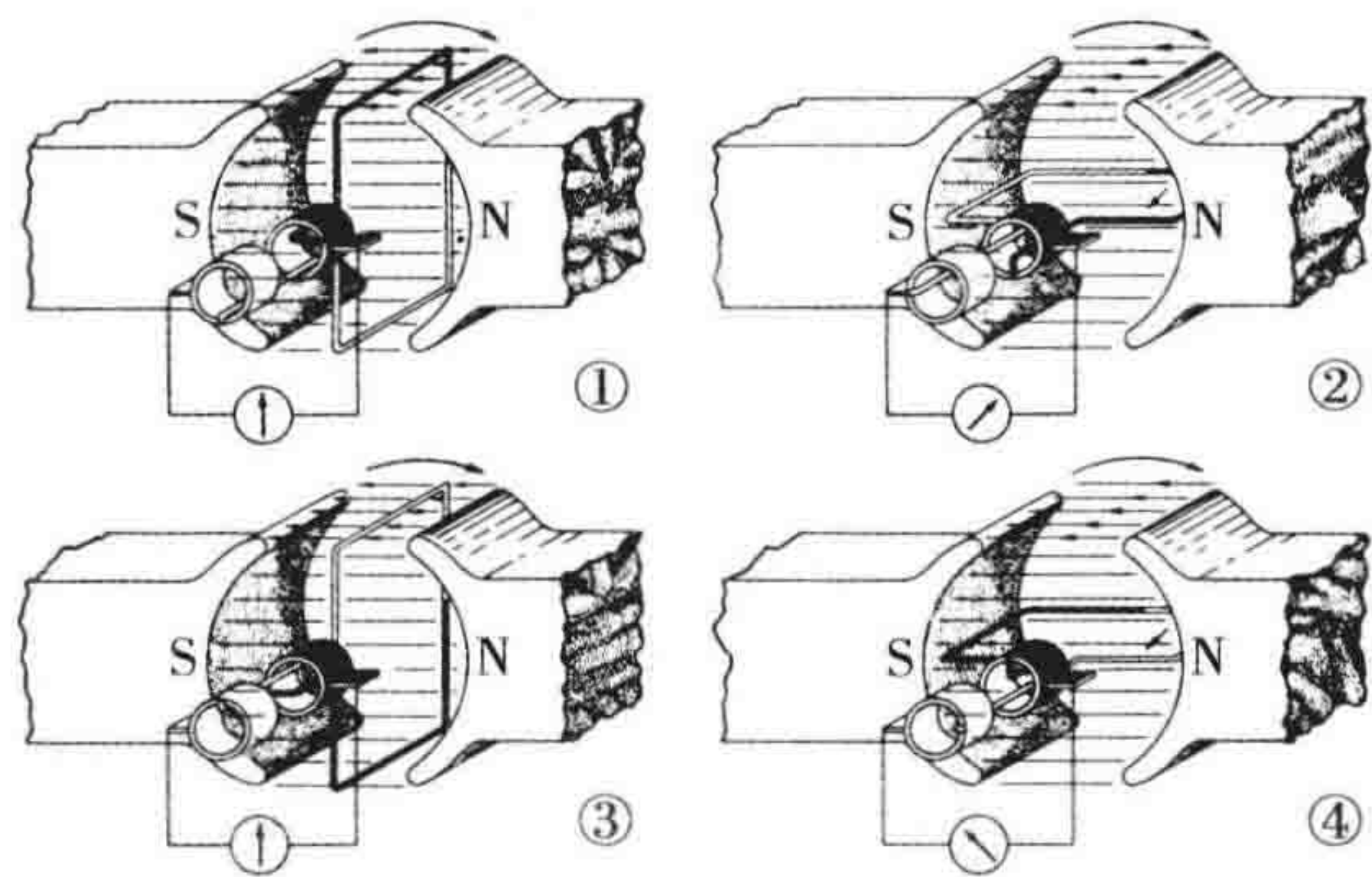


图 19-1 导线回路在磁场中旋转

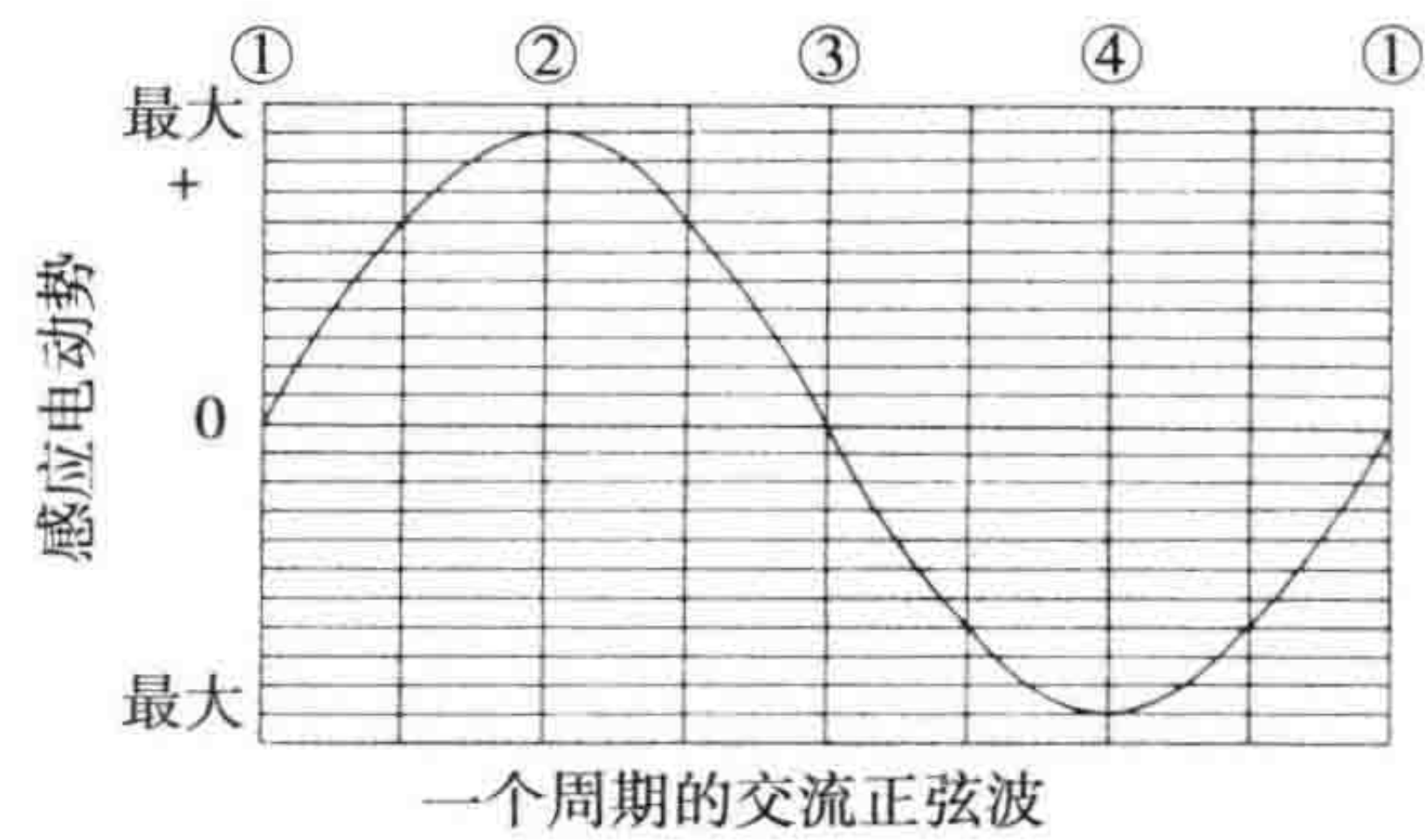


图 19-2 单相交流发电机的正弦波输出

19.3 交流发电机的组成部分

19.3.1 转子

发电机的旋转部分称为转子。交流发电机的磁场位于转子上。交流发电机的转子是凸极式（见图 19-3）或涡轮式（见图 19-4），可对两种转子进行比较。

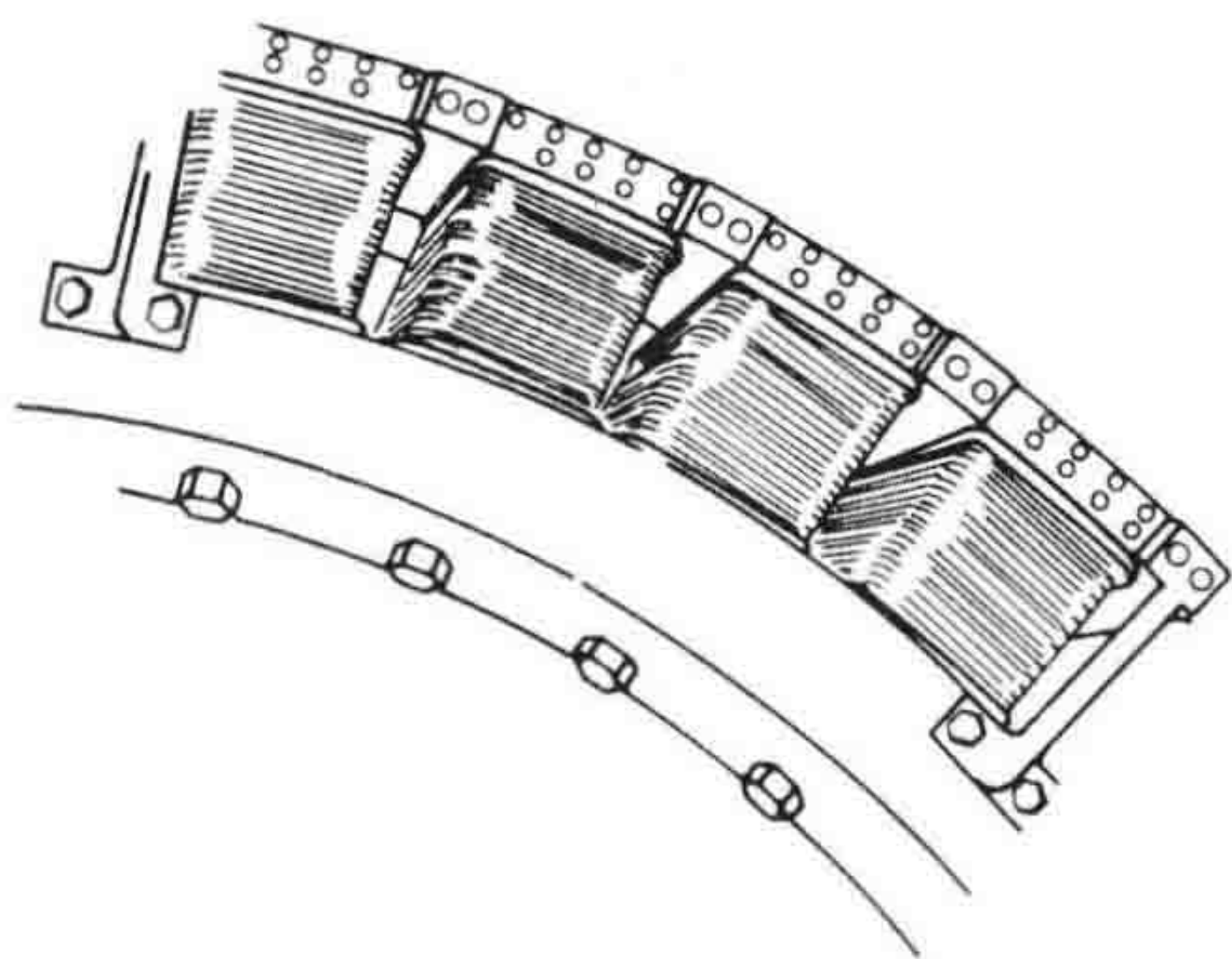


图 19-3 交流发电机的凸极转子

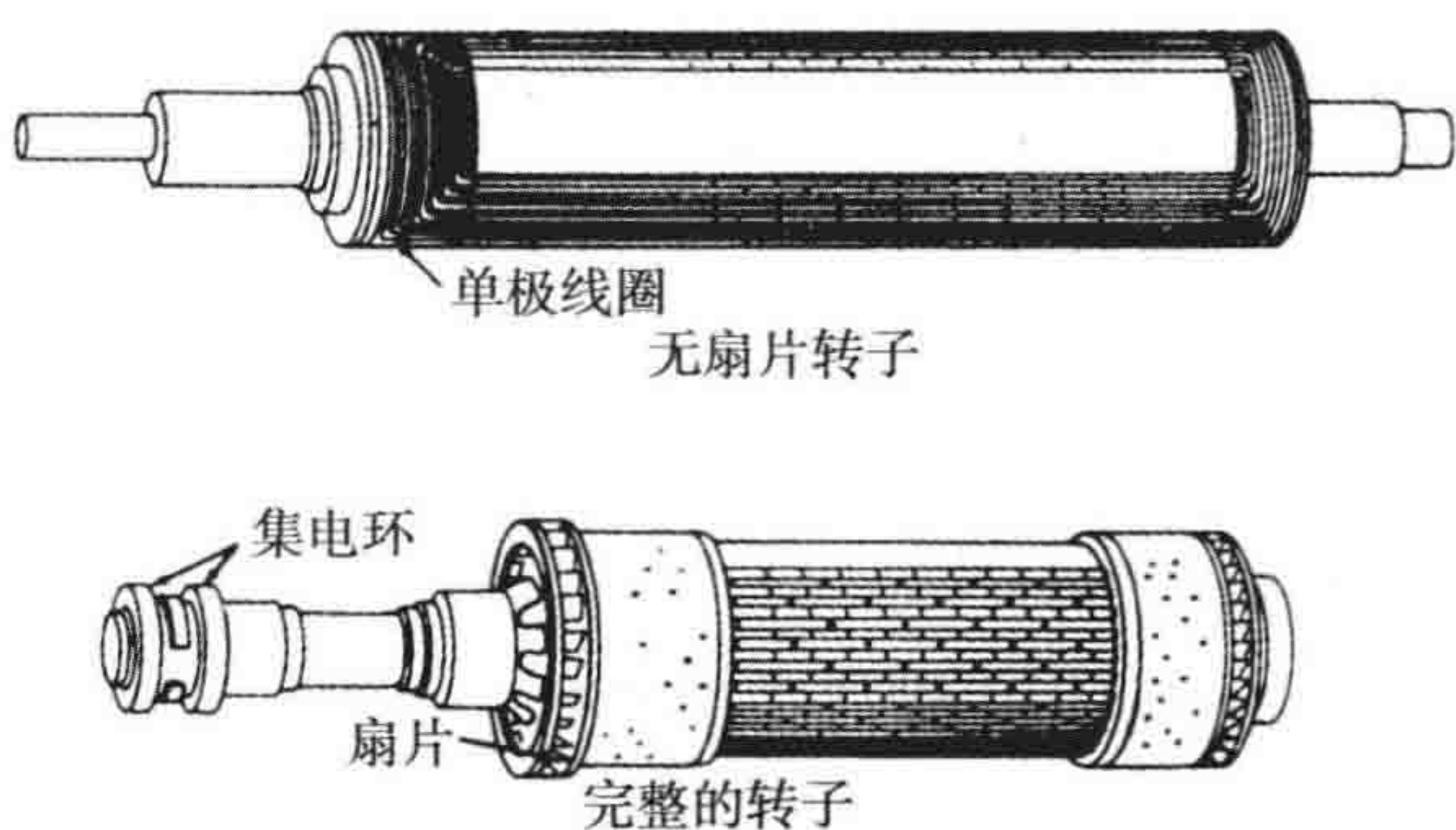


图 19-4 交流发电机的涡轮式转子

当交流发电机是由低速柴油机或水轮机驱动时（转速高达 720 r/min），通常使用凸极式转子。通过将一定数量的钢叠片固定到辐条框架或网状框架上可以形成磁极。较重的磁极会在低速转子上产生飞轮效应，这有助于保持角速度恒定，还可以减少发电机输出电压和频率的变化。高速发电机（转速高达 3600 r/min）通常使用具有光滑表面的涡轮式转子，这有两个主要原因：（1）它有较少的空气摩擦（发热）损失；（2）绕组布置得使它们能够在高速旋转时耐受离心力的作用。涡轮式转子是固体钢锻造件，是一定数量的钢盘和固定在槽中的磁场线圈固定在一起制成的。所以这些磁场线圈通常的放置方式能将磁通均匀分布在转子周围，如图 19-4 所示。

19.3.2 定子

在有旋转磁场的交流发电机中，电枢绕组静止不动，因此电枢绕组是定子。为了减少涡



流损失，在旋转磁场中电枢铁心是由叠压的钢片制造而成的。一个典型交流发电机的定子如图 19-5 所示。为了提供足够的通风，高速涡轮式发电机的定子叠片设有通风沟。这些是必需的，因为绕组中产生的高温在转子和定子之间的微小间隙内不易消散。图 19-6 显示了定子的紧密程度。一些大型的交流发电机是完全封闭的，通过高压氢气冷却。高速交流发电机的定子线圈必须被很好支撑，当发电机重载运行时，这种支撑可以防止线圈被拖出所在的位置。

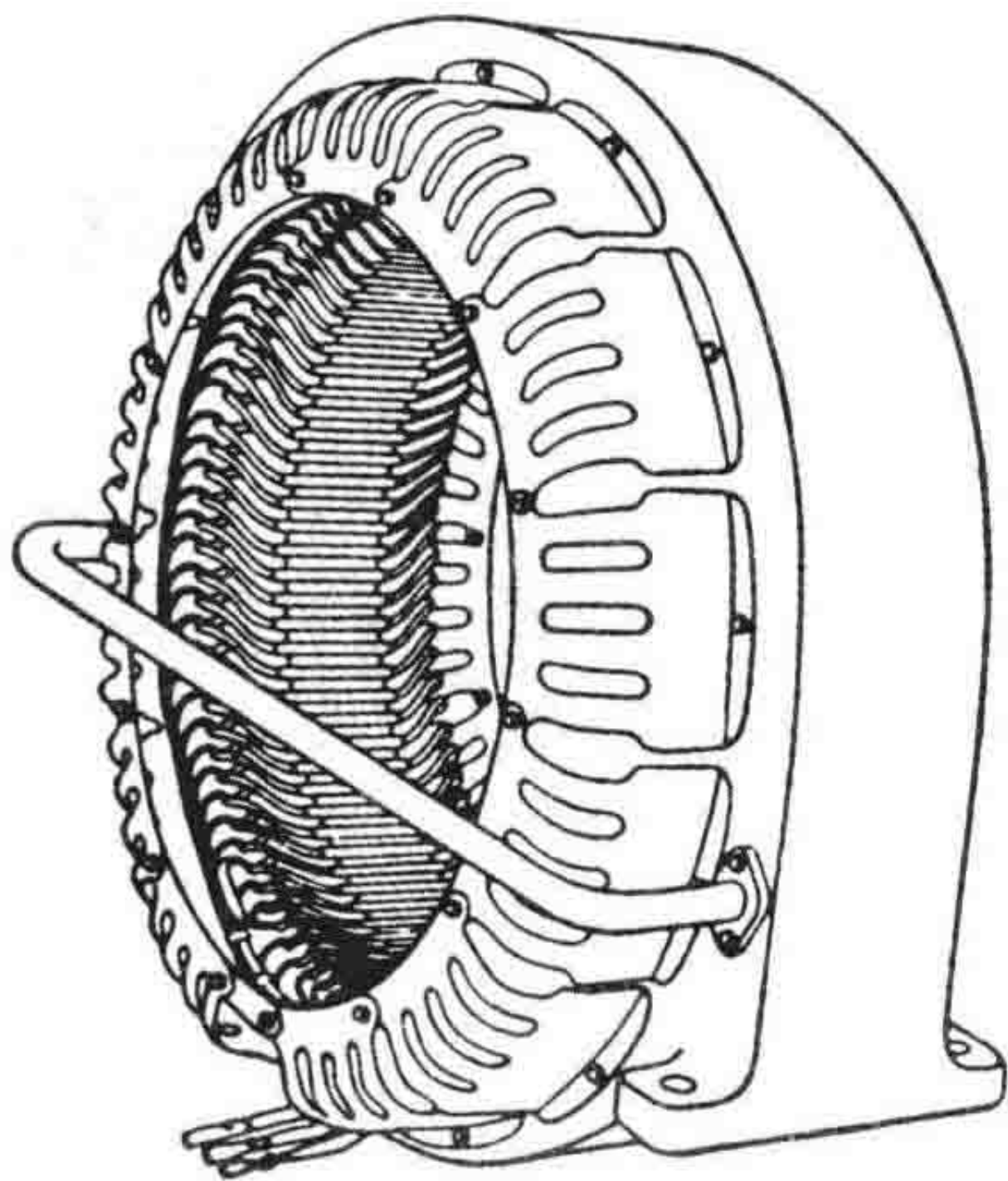


图 19-5 典型交流发电机的定子

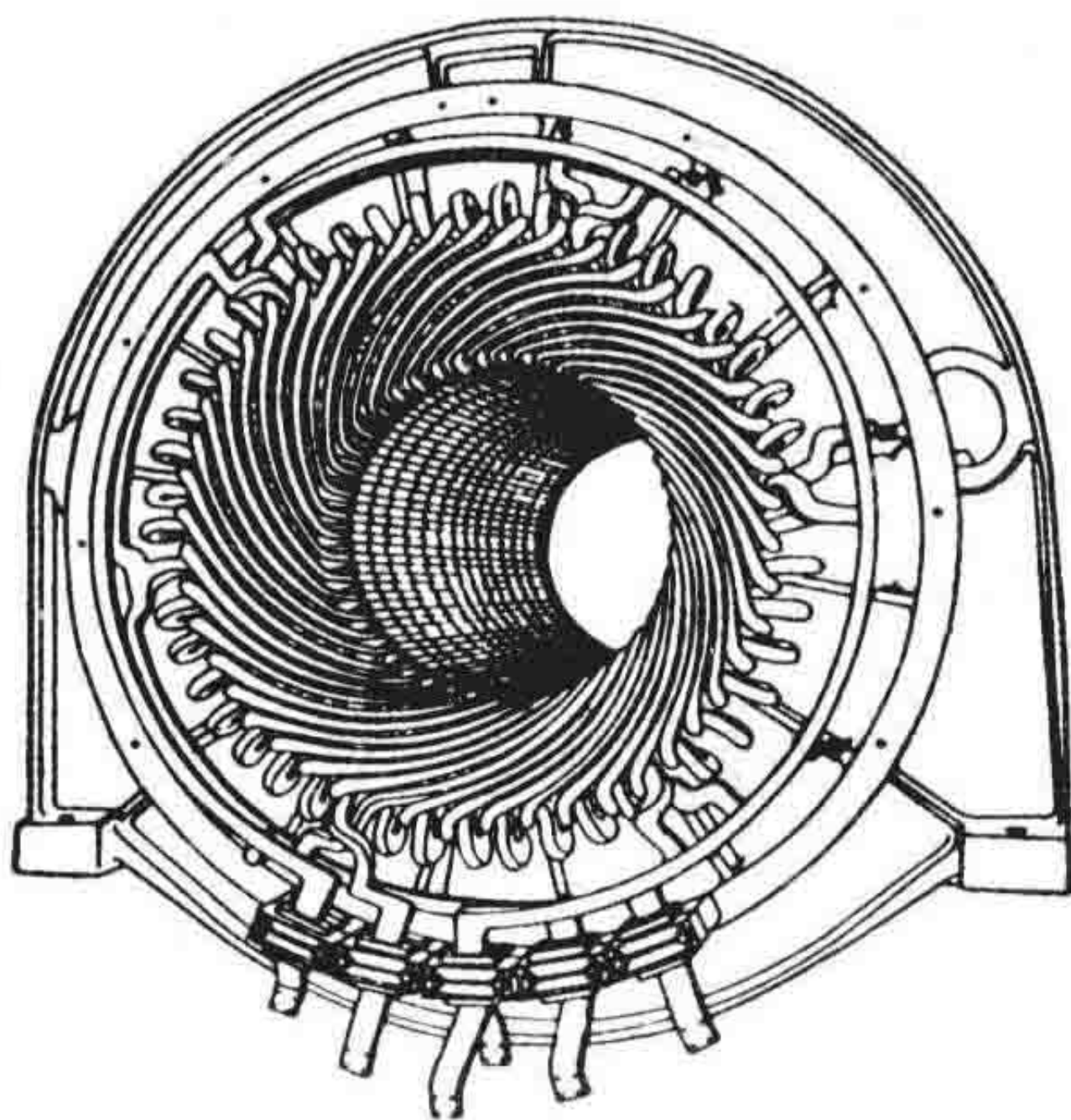


图 19-6 绕组缠绕得非常紧密

19.3.3 励磁机

像许多直流发电机一样，交流发电机的励磁需要一个独立的直流电源。此直流励磁电流必须从励磁机的外部电源处获得。用来提供这个电流的励磁机通常是平复励绕组直流发电机，它可以提供 125~250V 的电压。励磁机电枢可直接安装在交流发电机的转子轴上，它可能是由皮带驱动的。图 19-7 显示的是安装在同一轴上的励磁机电枢和发电机。

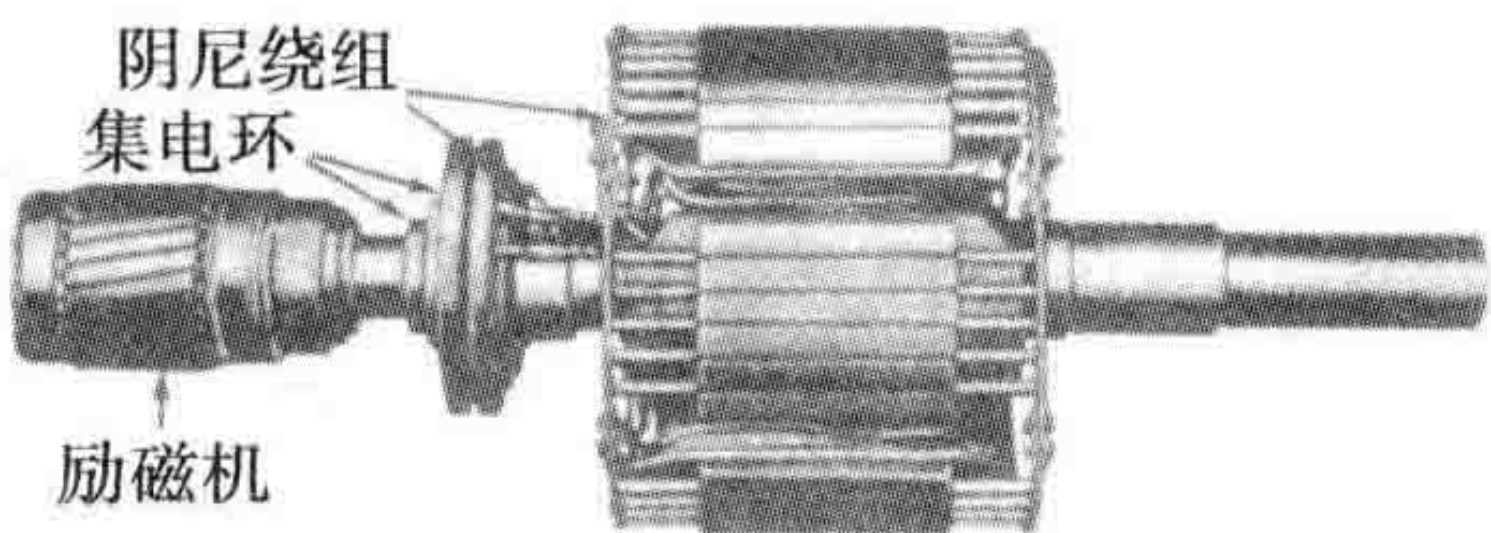


图 19-7 安装在同一轴上的励磁机电枢和发电机

无刷励磁机也可提供直流磁场。无刷励磁机是将交流电转换为直流电的交流发电机，它是通过一个安装在发电机轴上并与之绝缘的二极管整流器组件来实现这种转换功能的。无刷励磁机没有产生摩擦的部件，如刷子、刷握、换向器或集电环，所以它几乎不需要维护（见图 19-8）。

**静态励磁机** 另一种常用的励磁机是静态励磁机。它之所以称为静态励磁机是因为它不包含移动部件。发电机输出的每一相交流电的一部分电流都通过一个包含变压器、整流器和电抗器的系统，作为直流励磁电流反馈到励磁绕组中。这个系统，需要一个外部直流电源对励磁绕组进行初始励磁。对于由发动机驱动的发电机而言，初始的“磁场闪现”可以通过储能电池得到，储能电池同样也可用来起动发动机。

**机架与轴** 交流发电机中机架与轴的作用与直流发电机相同。机架完善磁场的磁路，它还支撑其他配件和绕组。轴由端盖或者机架支撑，转子在轴上旋转。

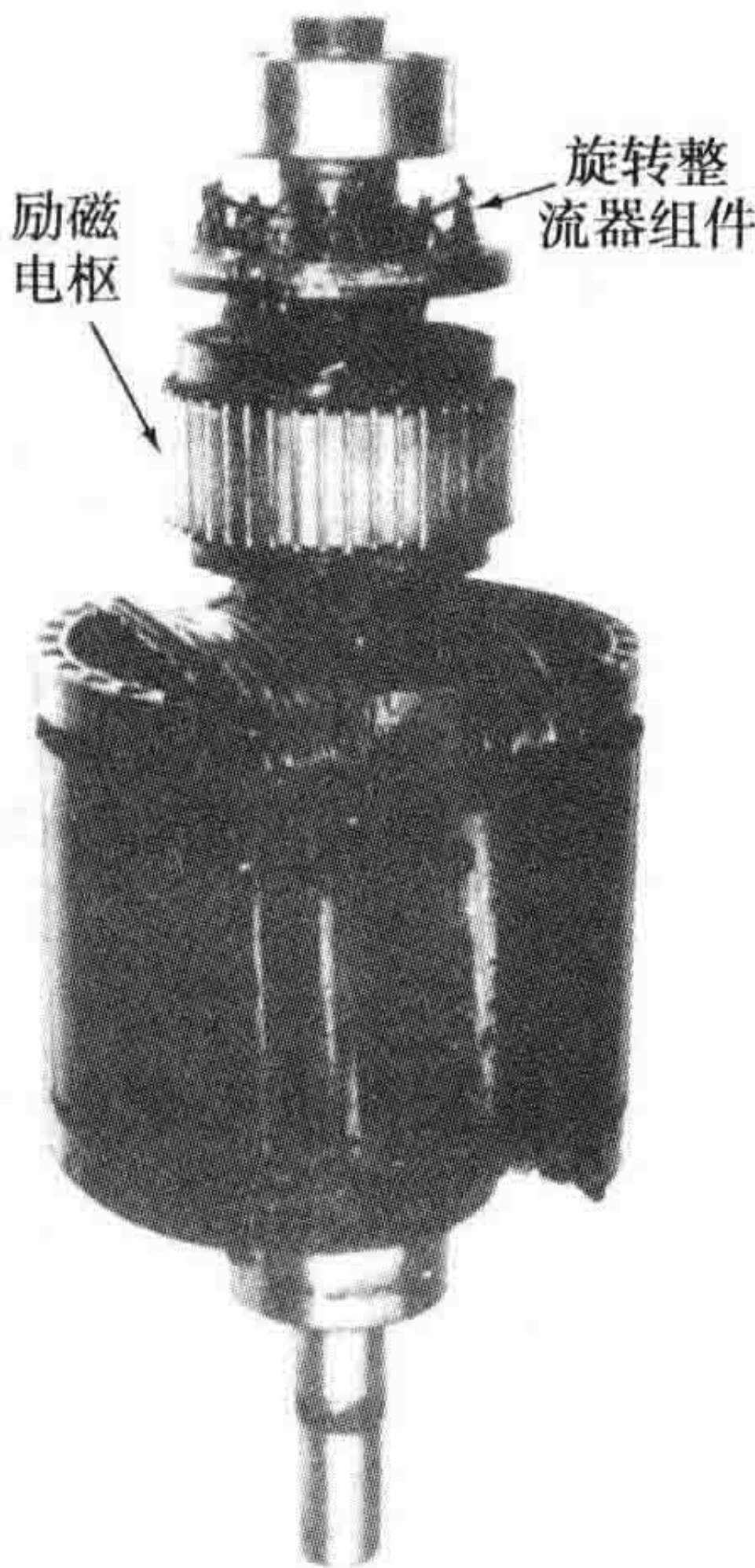


图 19-8 无刷转子



## 19.4 交流发电机的类型

### 19.4.1 单相交流发电机

除特殊用途外，这种类型的交流发电机较少使用。施工人员有时用它作为紧急发电机来使用。通常，这种类型的交流发电机是自励式的且功率较低。图 19-9 所示为一种典型的发电机，它的构造类似于在直流电枢上带有一个辅助交流绕组的直流发电机。位于旋转部分的直流绕组通常是叠绕结构或波绕结构的，绕组以通常的方式连接到换向器上。

直流绕组为直流励磁和其他直流负载提供电流。第二个开放式波绕组位于直流绕组顶端的旋转槽中。这个绕组与集电环相连，可以提供交流输出。

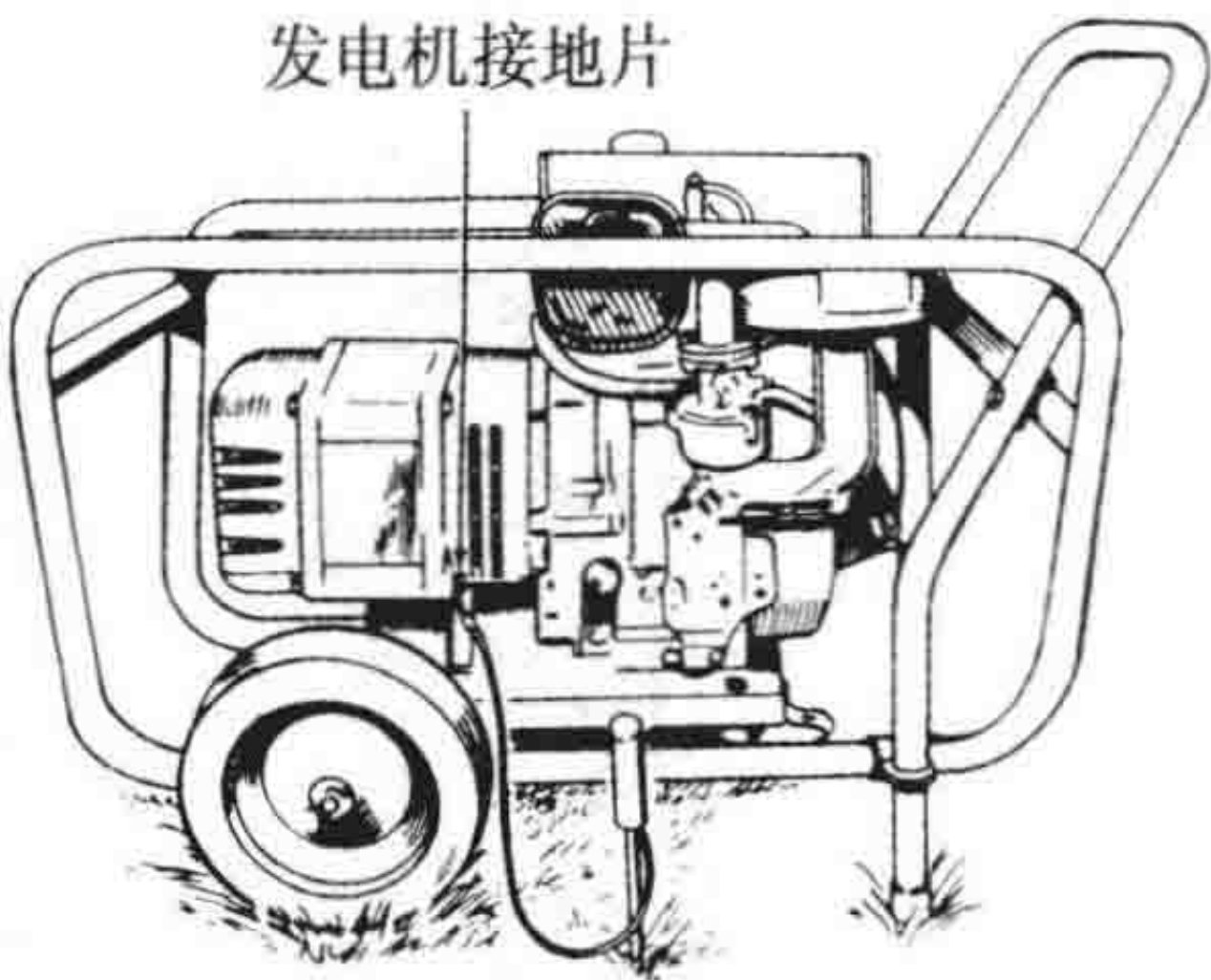


图 19-9 单相便携式发电机

### 19.4.2 两相交流发电机

这种类型的交流发电机称为多相交流发电机。它有两个或更多的单相绕组对称隔开环绕的定子。在两相交流发电机中，物理上隔开分布的两个单相绕组，可使在一个绕组中产生的感应交流电压与另一个绕组中的感应电压有  $90^\circ$  的相位差。当一个绕组通过最多磁通时，另一个绕组没有任何磁通通过。

图 19-10 所示为一个两相四极交流发电机的原理图。定子包括两个彼此分开的单相绕组，每个相位由 4 个绕组组成，这些绕组串联连接，所以其输出电压是 4 个绕组的叠加。这个发电机的转子与单相交流发电机的转子相同。这种类型的发电机产生的波形如图 19-10b 所示。

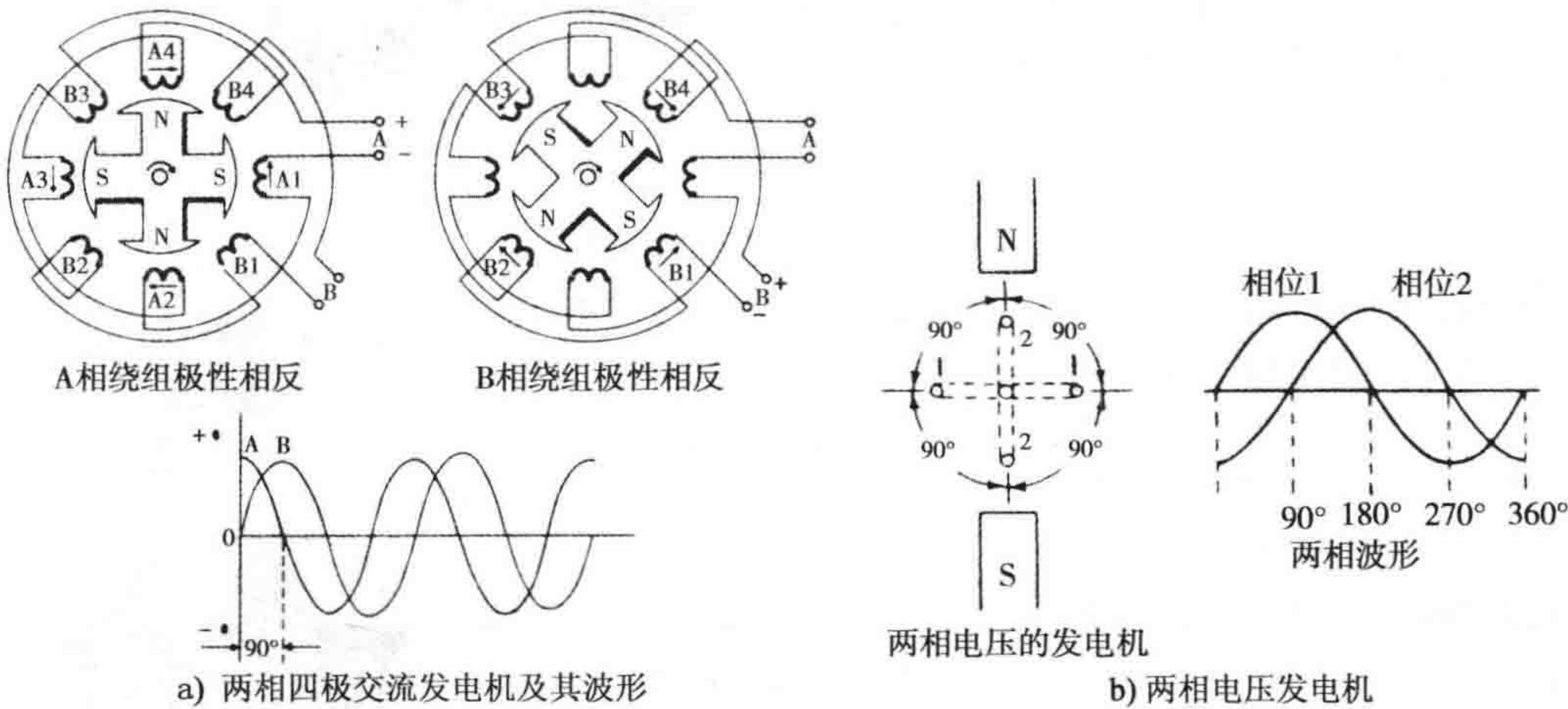


图 19-10 两相交流发电机

两相交流发电机的两相可以连接在一起，如图 19-11 所示。只有三根引出线从发电机上引出与负载相连，这种类型的电源很少使用。然而，在欧洲的某些地区这种类型的电源可供家庭和商业使用。当起动电动机时，和单相电动机相比，它具有的优势是：使用两相电源的交流电动机不需要起动绕组，也不需要一旦达到电动机运行速度用来切除起动绕组的开关。



19.4.3 三相交流发电机

顾名思义，这种类型的发电机有 3 个单相绕组。这些绕组间隔分布，每个绕组中的感应电压与其他两个绕组的感应电压相位相差  $120^\circ$ 。三相发电机的原理图想要显示出 3 个线圈是很复杂的。图 19-12a 显示了一些不同类型的负载如何被连接到三相电源上。

图 19-12b 所示为交流发电机的输出波形。注意，输出相位间有  $120^\circ$  的相位差。

电力公司提供的供家庭和商业使用的电能都是三相的。然后，它们被 3 个单独的变压器分为 3 个单独的电源，提供给 3 个不同的用户，或者进一步细分。一些三相电源被企业用来驱动大型电动机。相比单相电动机，三相电动机所需日常维护较少。

图 19-11 两相交流发电机的接线

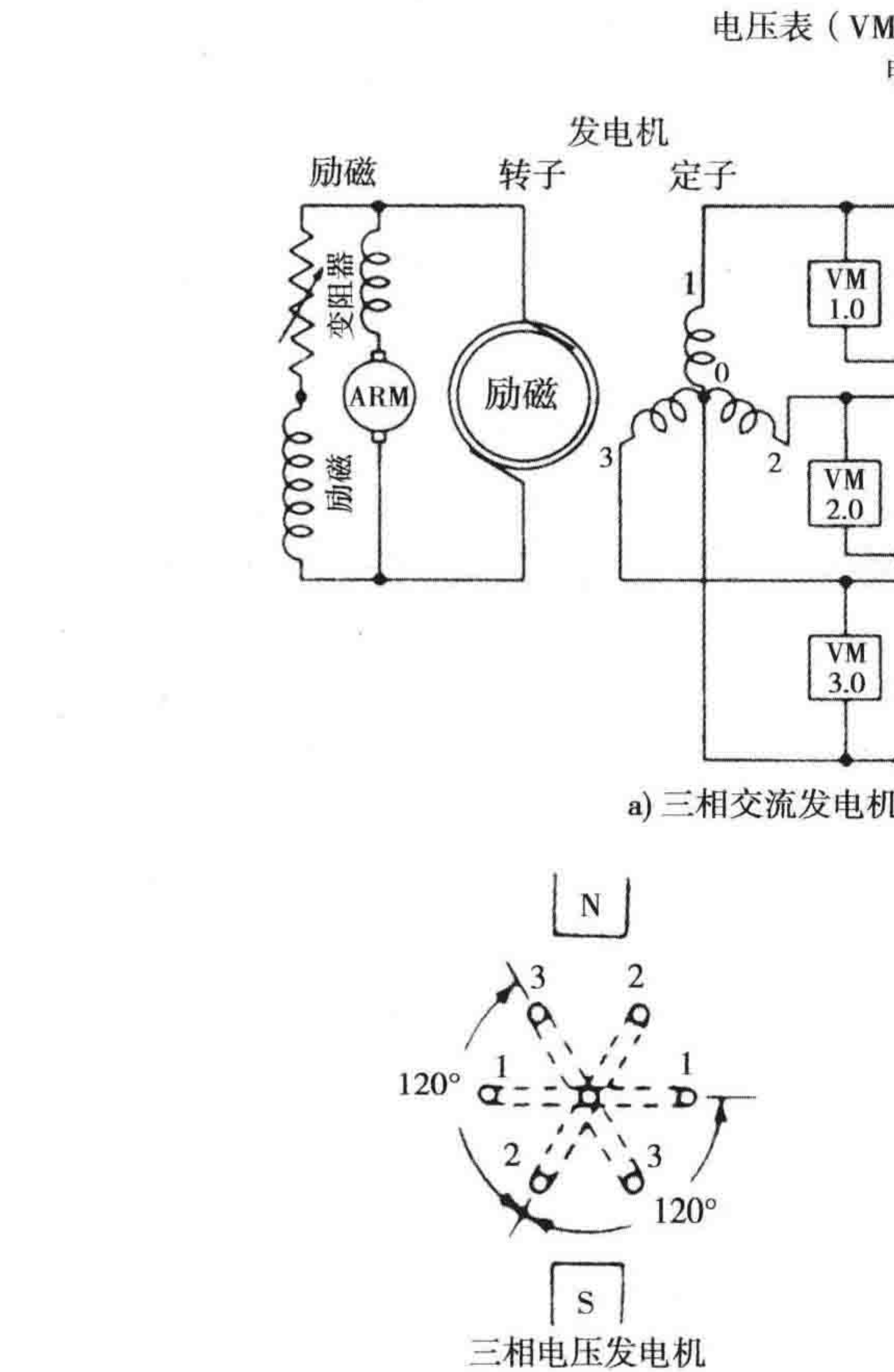


图 19-11 两相交流发电机的接线

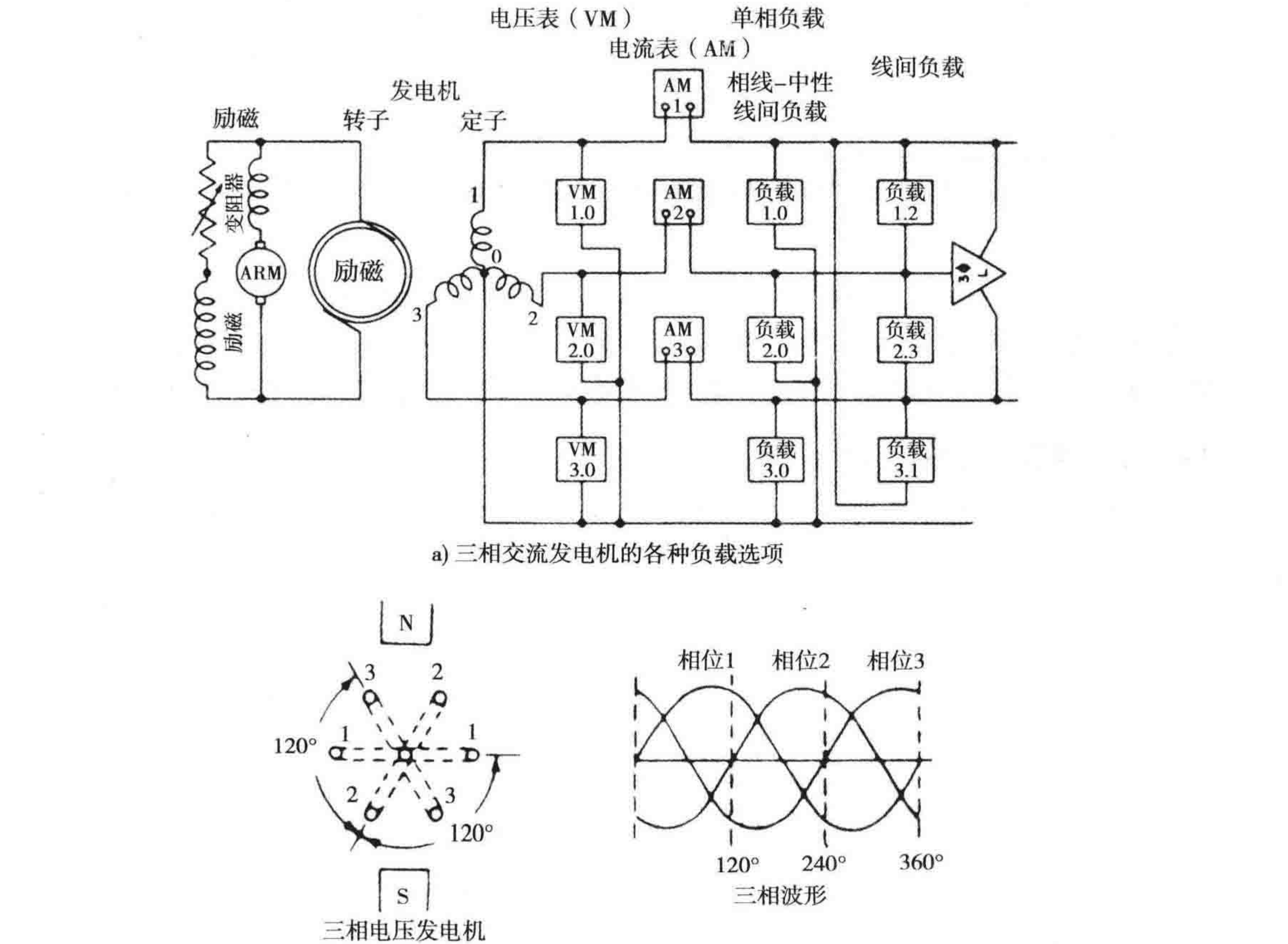


图 19-12 三相交流发电机



## 19.5 星形联结和三角形联结

### 19.5.1 星形联结

与三相交流发电机的 6 根引出线不同, 每相末端的引出线可以连接形成一个公共端。定子是星形联结, 如图 19-13 所示。公共端既可以通过引线引出也可以不引出。如果它被引出就称其为中性线。中性线的优点之一是所有的线圈所带负载均衡。中性线作为三相电流的公共端返回电路, 它维持所有负载电压的平衡。当负载平衡时, 中性线没有电流流过。三相四线制系统广泛应用于工业和飞机的交流电力系统中。

### 19.5.2 三角形联结

三相定子也可能采取三角形联结。在三角形联结的交流发电机中, 3 个绕组始末端相连形成三角形。3 个连接点引出连接线与负载相连, 如图 19-14 所示。当发电机相位正确连接成三角形, 并且没有外部负载连接到交流发电机上时, 在三角形环路中就没有可以感应的电流流动。如果任何一相的相位反接, 空载状态下的短路电流就会在绕组中流动, 这将导致绕组损坏。

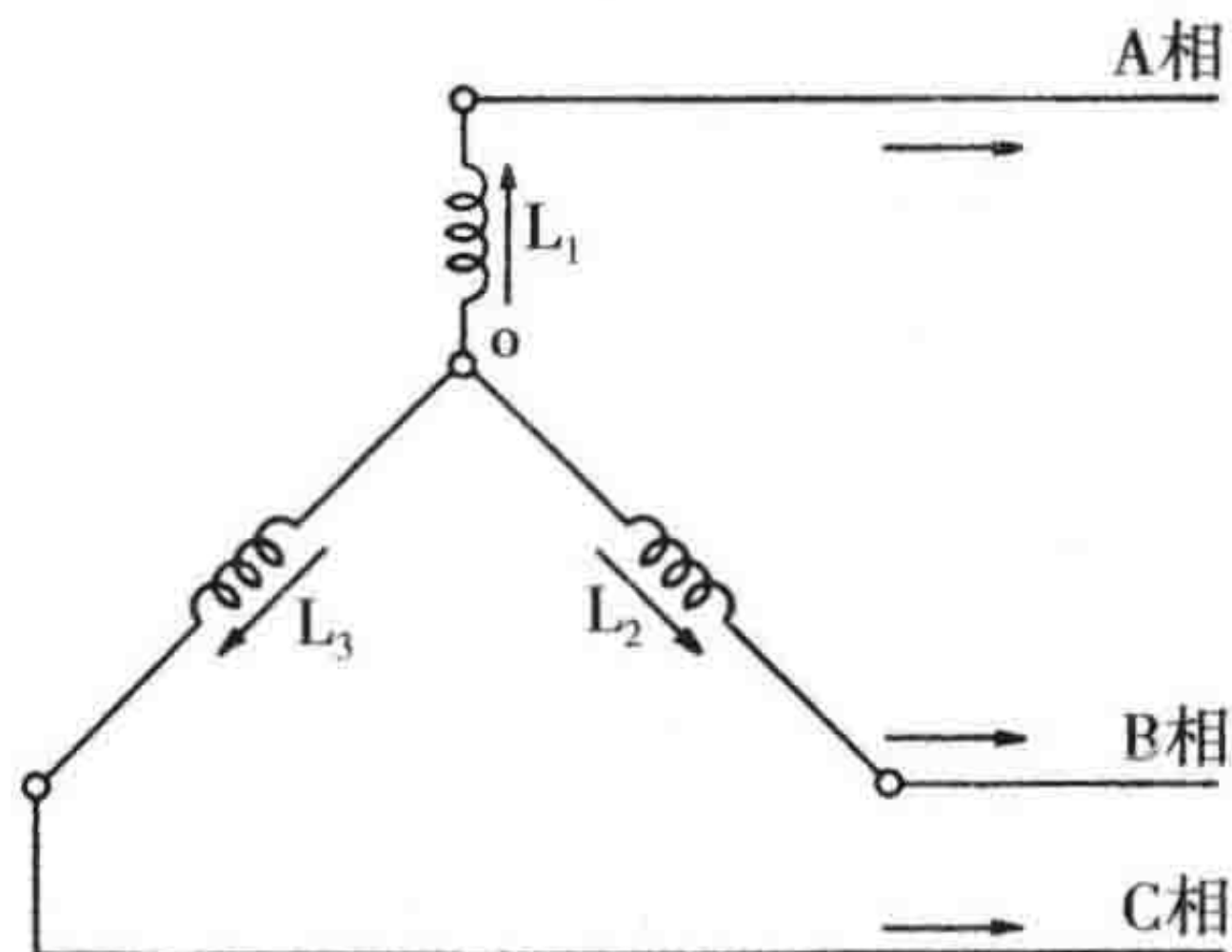


图 19-13 星形联结的三相绕组中电流的流向

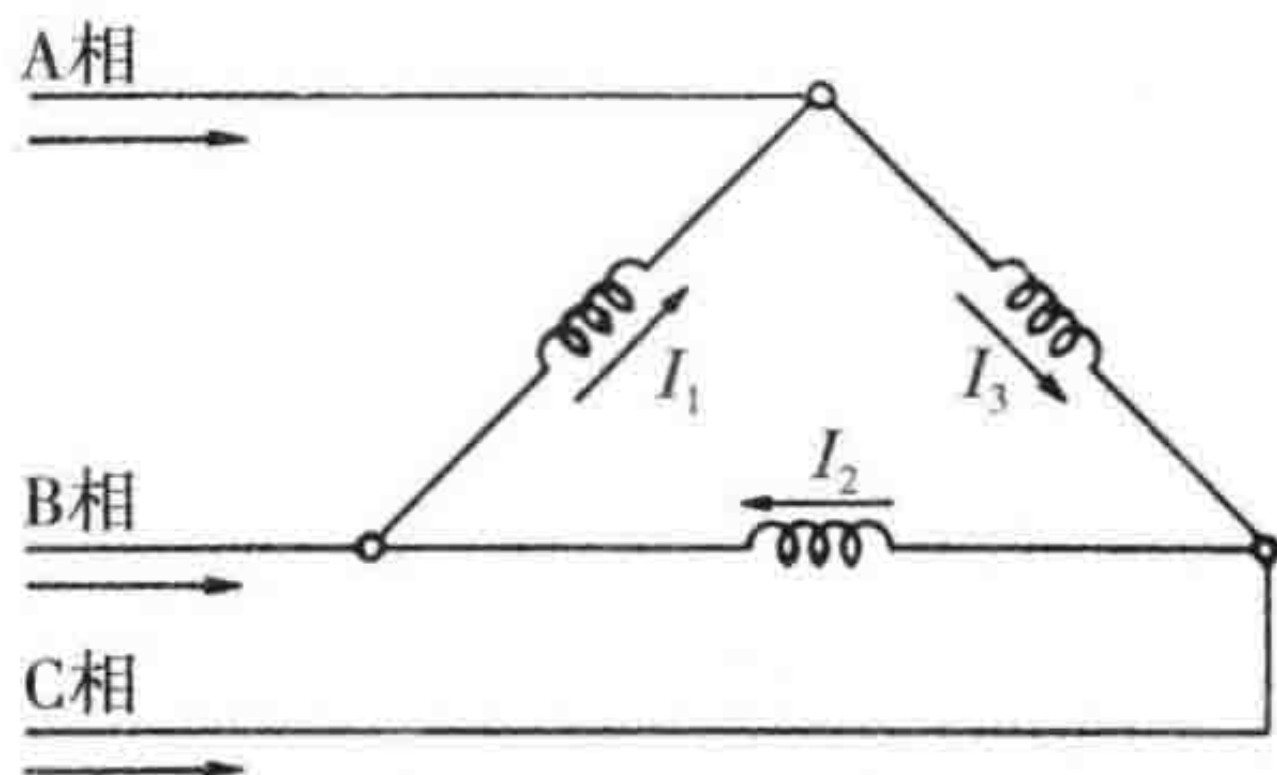


图 19-14 三角形联结的三相交流发电机绕组中电流的流向

为了避免连接中相位反相, 在闭合三角形联结之前必须测试电路。测试可以在闭合三角形联结之前通过在三角形环路的开口两端之间连接电压表或者熔丝来完成。如果交流发电机在空载状态下, 在三角形环路的开口两端有明显的电流或电压, 那么这两端就不应连接起来。

### 19.5.3 对称星形联结中的功率

三相对称星形联结系统中传送的功率等于每一相传送功率的 3 倍。总的有功功率是:

$$P_t = 3 \times E_{\text{phase}} \times I_{\text{phase}} \times \cos\theta$$

由于

$$E_{\text{phase}} = \frac{E_{\text{line}}}{\sqrt{3}} \text{ 和 } I_{\text{phase}} = I_{\text{line}}$$

总的有功功率是:

$$P_t = 3 \times \frac{E_{\text{line}}}{\sqrt{3}} I_{\text{line}} \times \cos\theta$$

### 19.5.4 对称三角形联结中的功率

对称三相三角形联结系统中传送的功率也是每一相传送功率的 3 倍 (见图 19-15):

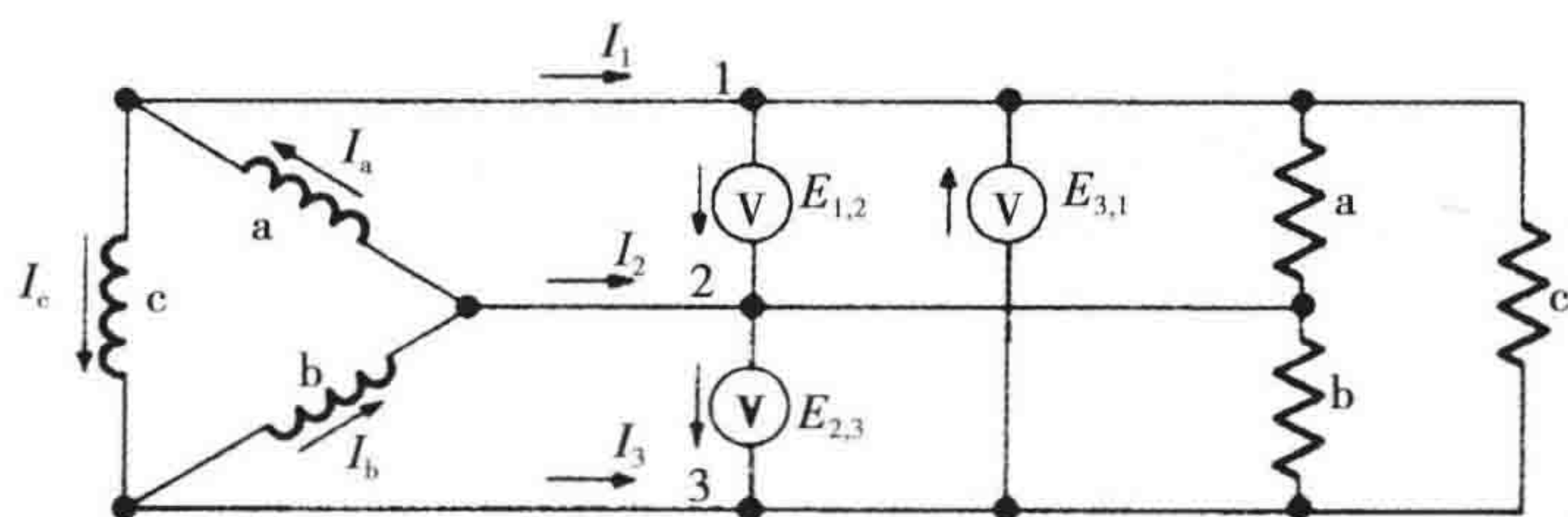
$$E_{\text{phase}} = E_{\text{line}} \text{ 和 } I_{\text{phase}} = \frac{I_{\text{line}}}{\sqrt{3}}$$



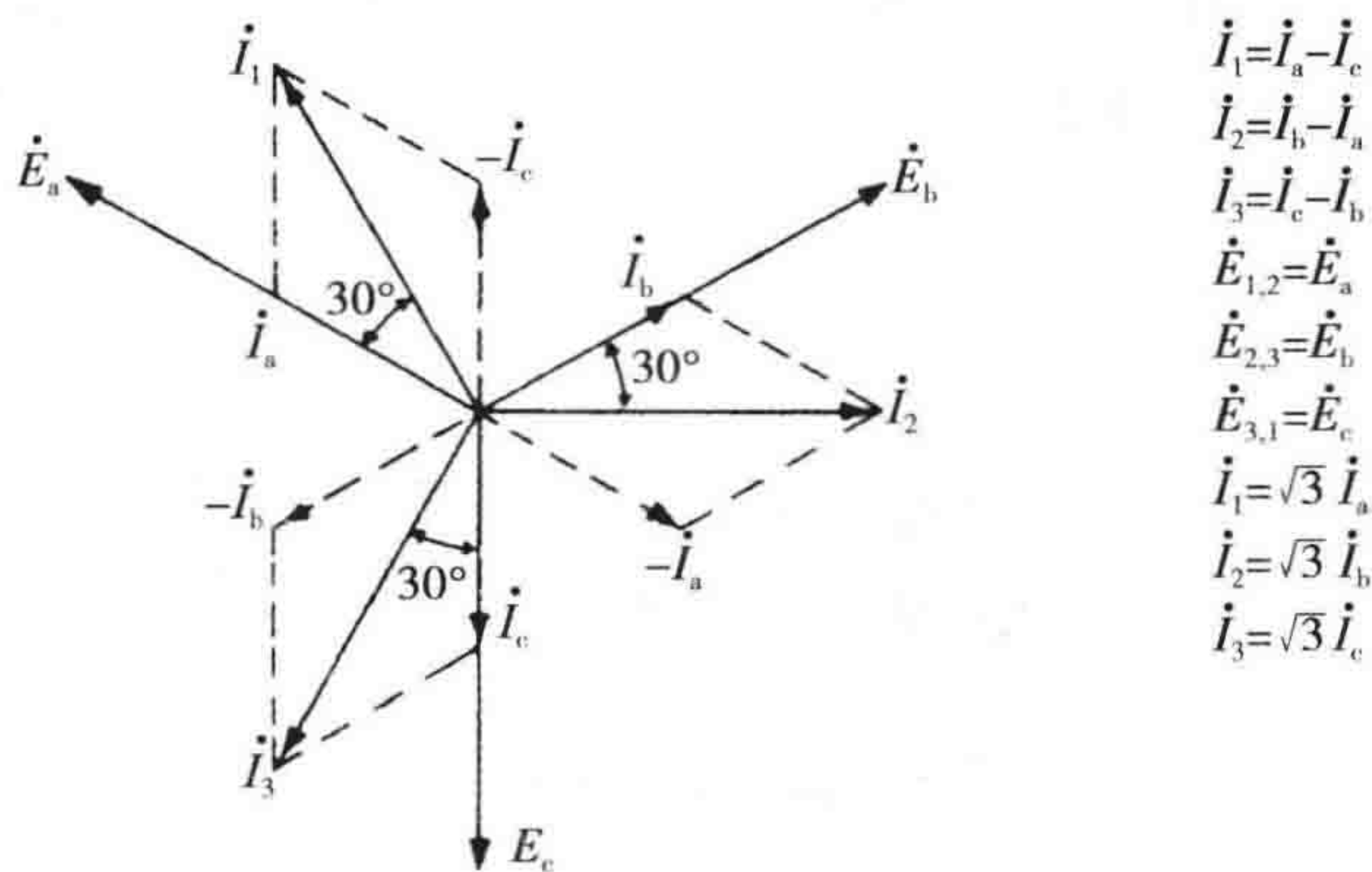
总的有功功率是：

$$P_t = 3E_{\text{line}} \times \frac{I_{\text{line}}}{\sqrt{3}} \times \cos\theta$$

因此，三相对称三角形联结系统中传送的三相功率表达式与三相对称星形联结系统传送的三相功率表达式相同。



a) 三相对称三角形联结系统传送的功率



b) 三相交流发电机中电流和电压关系

图 19-15 三相对称连接系统

## 19.6 频率

交流发电机的电压频率取决于转子的转速和极数。所需的频率越高，发电机转速越快；转速越慢，频率越低。转子的磁极越多，对于给定的转速，频率越高。如果转子转过的角度可以使一个绕组通过两个相邻的磁极（一个 N 极和一个 S 极），那么此绕组中产生的感应电压已经变化了一个完整的周期。

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{n}{60} = \frac{Pn}{120}$$

式中， $P$  为极数； $n$  为每分钟转速； $f$  为频率。

## 19.7 负载变化

当交流发电机的负载发生变化时，端电压承担负载。电压变化量取决于发电机的设计和负载的功率因数。对于具有滞后功率因数的负载（感性负载），端电压随负载的增加而下降的幅度大于功率因数为 1（阻性负载）时的下降幅度。对于具有超前功率因数的负载，端电压则会随负载的增加而上升。端电压随负载变化的原因是由电枢电阻、电枢电抗和电枢反应产生的。



### 19.7.1 电枢电阻

当电流流经发电机电枢绕组时，由于绕组电阻的存在所以会出现电阻压降（电压下降），使端电压伴随着负载的增加而降低。由于电枢电阻很小，所以电枢电阻的压降很低。

### 19.7.2 电枢电抗

交流发电机中电枢电流的变化近似为一个正弦波。发电机电枢中持续变化的电流除了电阻压降以外，还会伴随着电感压降。交流发电机的电枢电抗可能是电枢电阻值的 30~50 倍，这是由于线圈的电抗相对电阻来说更大。

### 19.7.3 电枢反应

当交流发电机无负载时，直流磁通均匀分布在气隙中。然而，当发电机承担感性负载时，通过电枢导体的电流会产生电枢磁动势（MMF），这种磁动势通过改变气隙磁通量的大小来影响端电压。当负载是感性负载时，电枢磁动势反抗直流磁场，从而减弱该磁场，端电压因此降低。当电枢中流过超前的电流时，电枢磁动势叠加直流磁场，气隙磁通增加，端电压升高。

## 19.8 电压调整

交流发电机的电压调整是指从满载到空载过程中电压的变化。它由恒定转速和在直流磁场电流下满载电压的百分比来表示。例如，发电机的空载电压为 250 V，其满载电压是 220V。电压调整率为多少？

$$\frac{250-220}{220}=13.6\%$$

## 19.9 备用或应急电源

断电非常危险，在某些情况下甚至是灾难性的。电源断电后它可以中断通风设备、水泵、挤奶机、机械加料器、防放射性微粒隐蔽室、制冷设备、熔炉控制器和其他重要的现代化生产设备，而这些设备需要连续的供电服务。

风暴、事故与设备故障都可能造成电力服务中断。如果停电时间很长，可以导致严重的问题，如果没有窗户的动物收容所停电，那么动物会出现窒息、食物变质、水管结冻。由于对持续电力供应的日益依赖，使人们对备用发电设备愈发感兴趣。

农场、医院、学校以及商业和工业场合等都对持续供电很感兴趣。随着计算机在工业、商业和教育中的广泛使用，对可靠电源的需求更加强了。

### 19.9.1 转换开关

转换开关是应急电源最重要的部件之一。美国国家电气规程（NEC）要求，备用发电机的连接必须预防两个电源的不当互连。双刀双掷开关通常安装在电源计量表和进户线之间。如果使用电流互感器来计量，可能需要杆上转换开关。图 19-16 所示为典型转换开关的接线。

使用双刀双掷开关可防止电能反送到正常电源的线路上，从而避免危及正在恢复供电的线路人员的生命安全。它还可以在正常电源恢复时，防止农场、商业、医院或其他系统的意外通电，以及由此造成的发电机烧毁。如果不使用转换开关，多数备用设备提供的保障都会变成空谈。



图 19-16 所示的转换开关是在家庭或者在农场使用的。它展示了将电源从发电机转接到家庭或者农场系统，然后再转接回电力公司线路上的方法。图 19-17 所示为自动转换和旁路隔离开关。

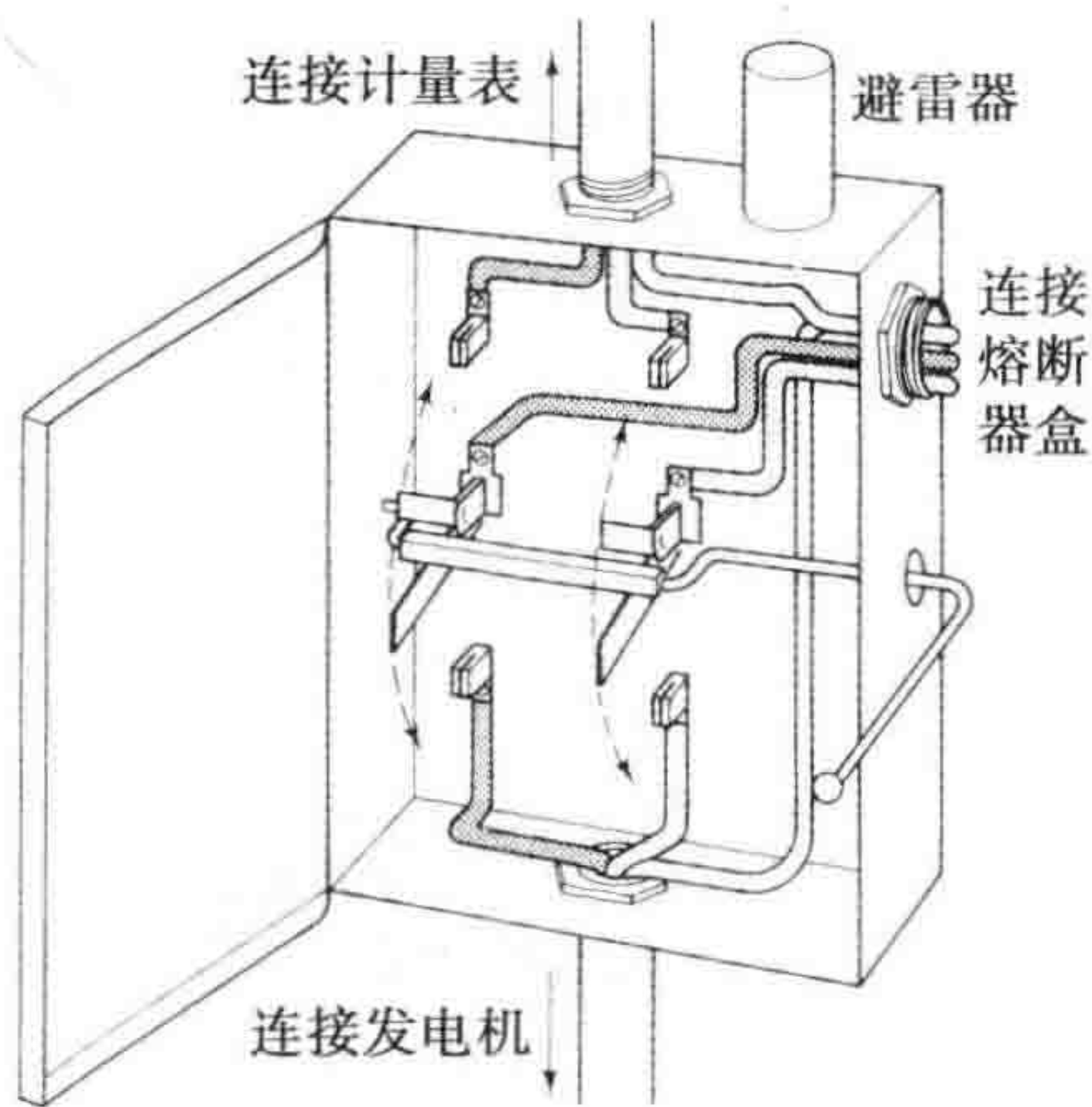


图 19-16 手动控制的转换开关接线

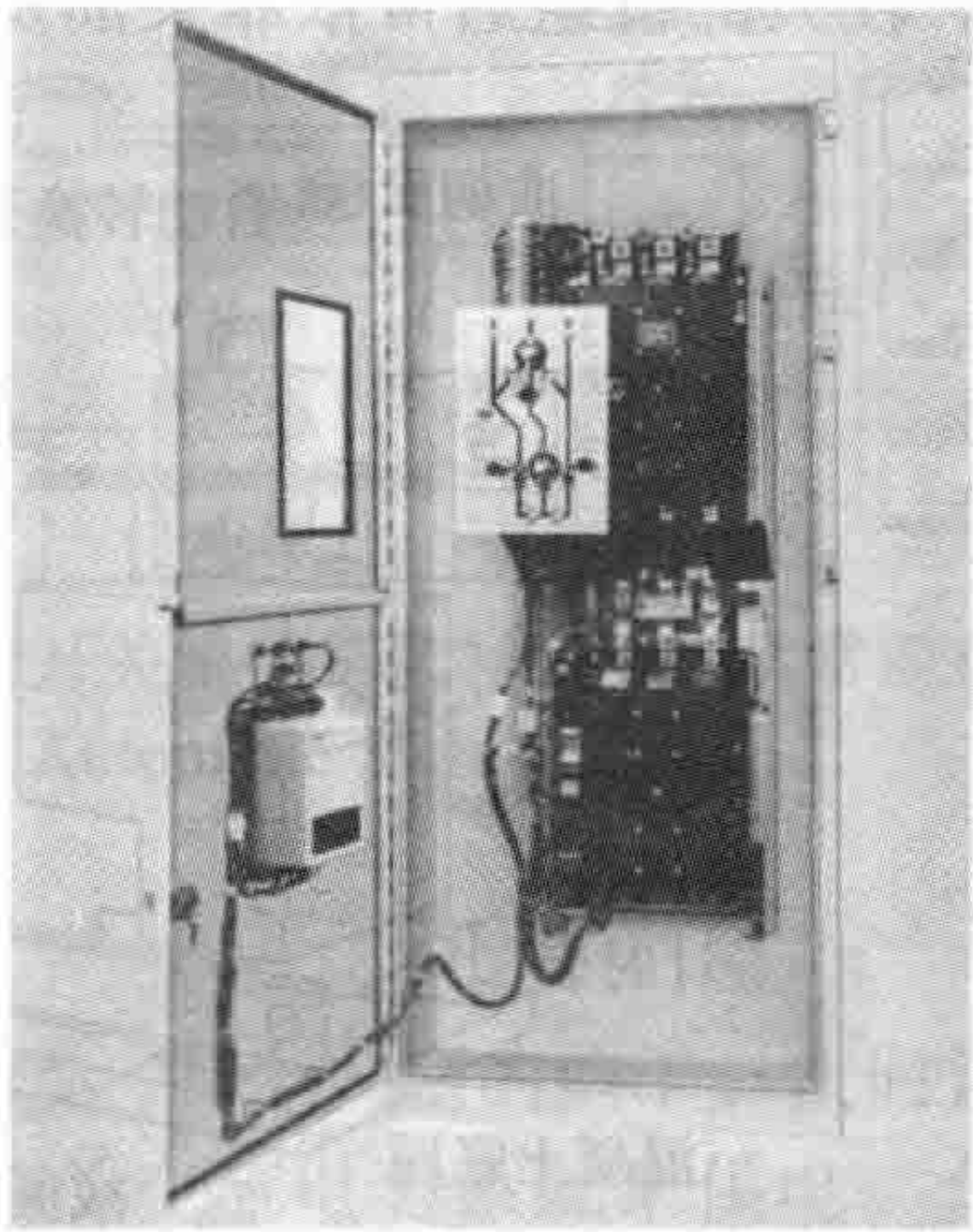


图 19-17 自动转换和旁路隔离开关  
(Automatic Switch 产品)

19.9.2 备用发电机的类型

备用发电机可以分为两种类型：发动机驱动和牵引驱动（见图 19-18）。牵引驱动装置可以是固定式的也可以是便携式的，图 19-19 所示为装在拖车上的牵引驱动发电机。发动机驱动的装置可以是固定式的也可以是便携式的，可手动或自动起动。

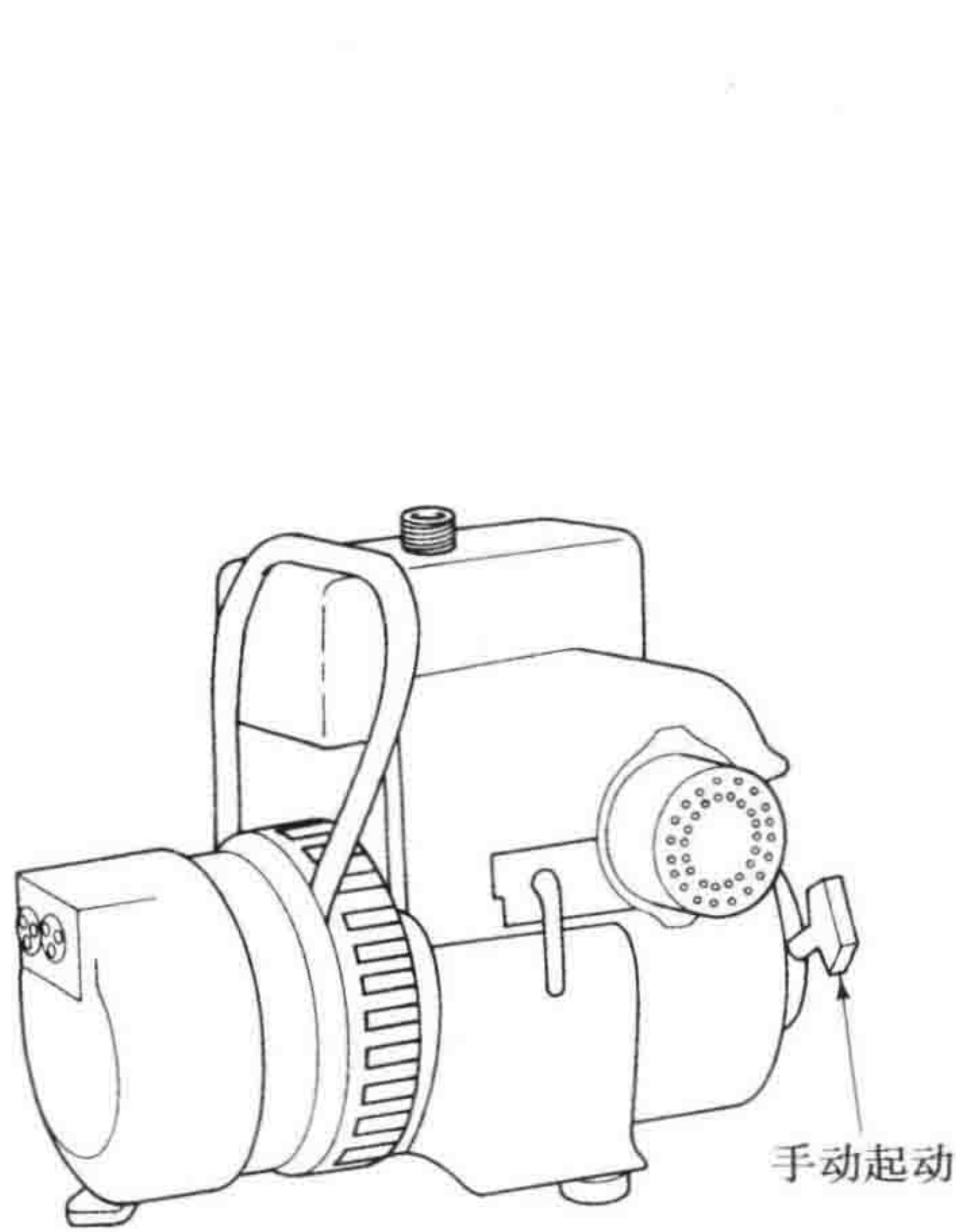


图 19-18 带手动起动的便携式发动机驱动发电机

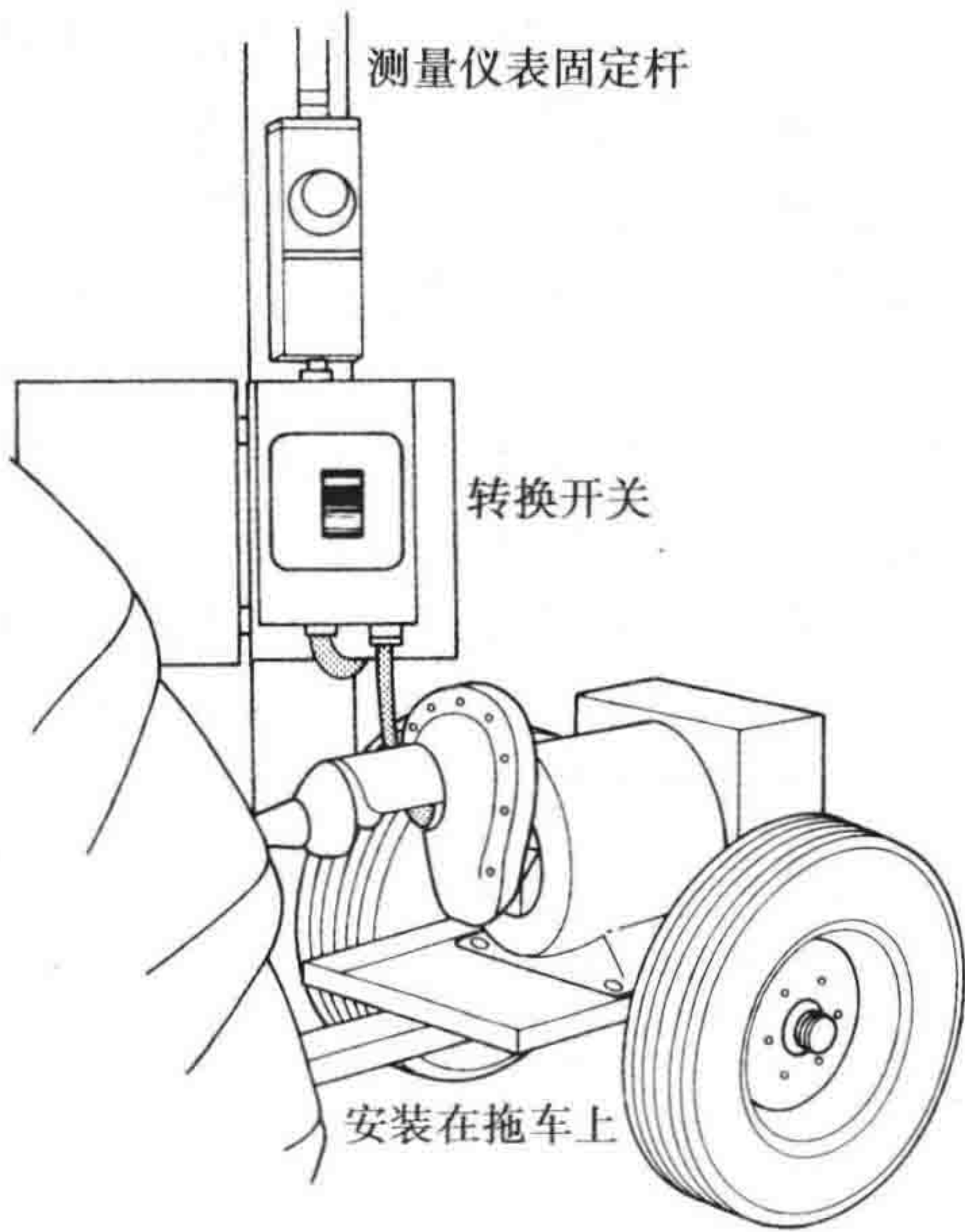


图 19-19 牵引式驱动发电机

备用发电机可以单相或三相运行。一些装置连接成 4 根引出线，以便可以在任何的单相或三相电源上运行。发电机必须与电力公司线路的功率、电压和频率相匹配，它通常是 120V/240 V，60 Hz 的单相交流电。



备用发电机没有标准的额定值。这意味着在选择发电机时，必须考虑短时的过载或最大容量以及短时工作周期。制造商的发电机过载性能可以从无过载变化到 100% 过载。大的过载能力使你可以选择更小的机组，尤其在有大型电动机的地方。图 19-20 所示为室内安装设计的发电机。较大的机组通常依靠柴油发电机作为动力。

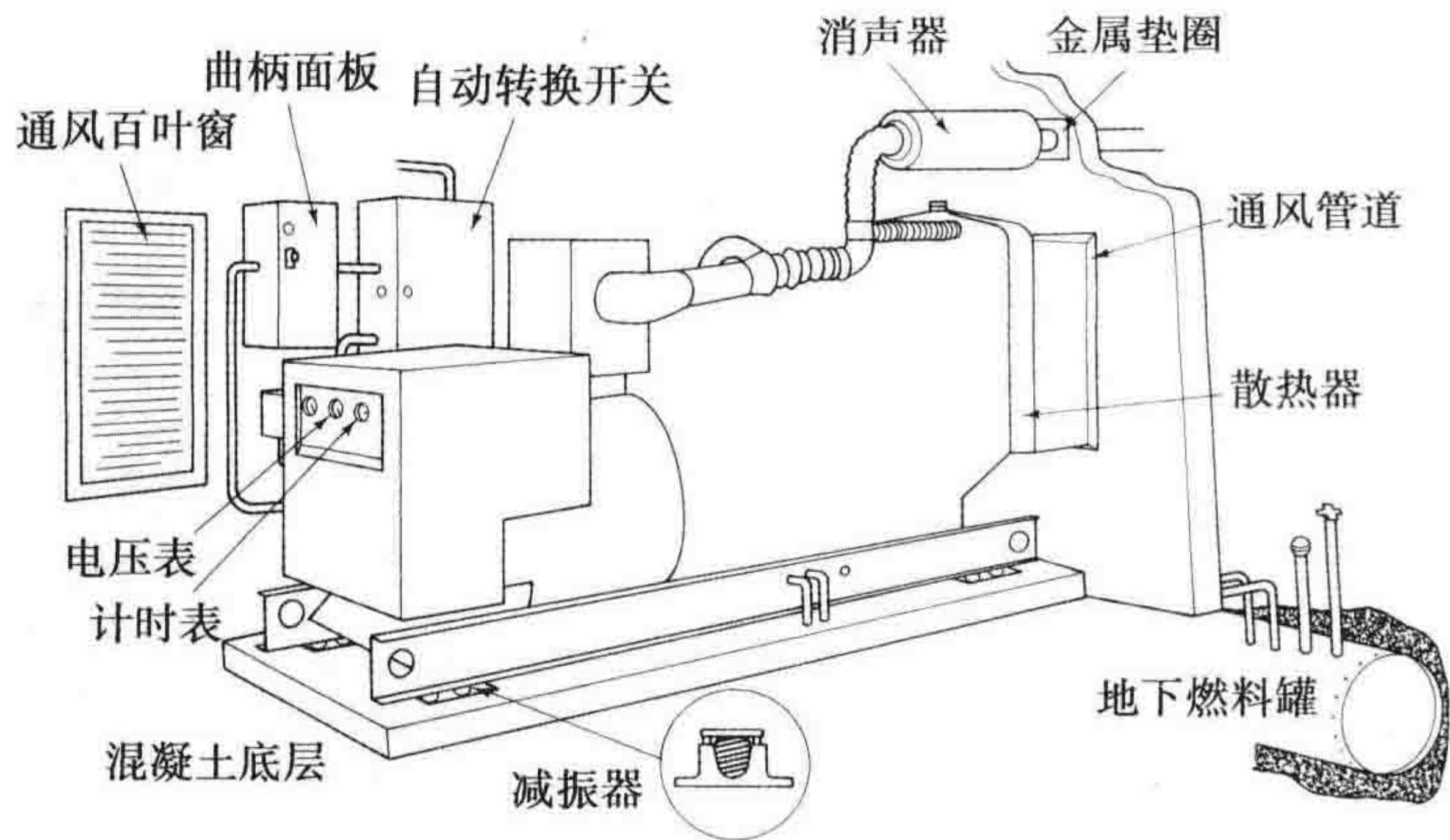


图 19-20 室内安装的大型柴油发电机系统

19.9.3 自动转换开关

自动转换开关可以监控正常电源（见图 19-17）。如果发生停电，开关可以发信号使发电机起动。当发电机达到适当的电压和频率时，所选的负载可转接到它上面。当正常电源恢复时，开关再把负载转接给正常电源。然后，经过一段冷却时间后关闭发动机。

有时，转换开关处理的电流值可能会远超其正常或持续电流的额定值。一个可靠的转换开关必须能够在对开关没有危害的情况下处理所有的状况。电动机起动电流是其中的一种情况。电动机起动时，可以产生其正常运行电流 6 倍的起动电流。如果电动机在运行时突然堵转，它也会产生与起动电流一样大的电流。如果转换开关在这两种情况下操作，它将要断开 6 倍的电流。因此开关必须能够处理这种情况，如果不能，转换开关会被永久性损坏（见图 19-21）。

所有的电流都要通过转换开关。负载侧短路会使最大电流经过转换开关，直到断路器断开线路。因此，转换开关也必须承受短路电流。

在短路期间磁场力会急剧增加以致使设计不合格的接触器断开。因此，转换开关必须能够锁定其触点闭合直到断路器进行操作。

当钨丝灯处于冷态时，可以产生高达 16 倍正常电流的冲击电流。这意味着负责给钨丝灯供电的转换开关必须能够处理这个超过正常状况的冲击电流。

电动机在运行的时候，如果被转接到新的与电动机不同步的常规或者应急电源上时，可以产生高达 15 倍的冲击电流。如果电动机与新的电源相位差达到 180°（见图 19-22），就可能发生此问题。

19.9.4 电子负载

几乎每一个电力系统都有一些电子负载。未来，随着自动化程度的提高和固态控制器价格的降低，电力系统负载中将会有更大比例的电子负载。电子负载的典型例子包括数据处理设备、重症监护设备、数控机械和保密设备。在所有的商业或者工业设施里面，电子负载都是总负载的重要组成部分。



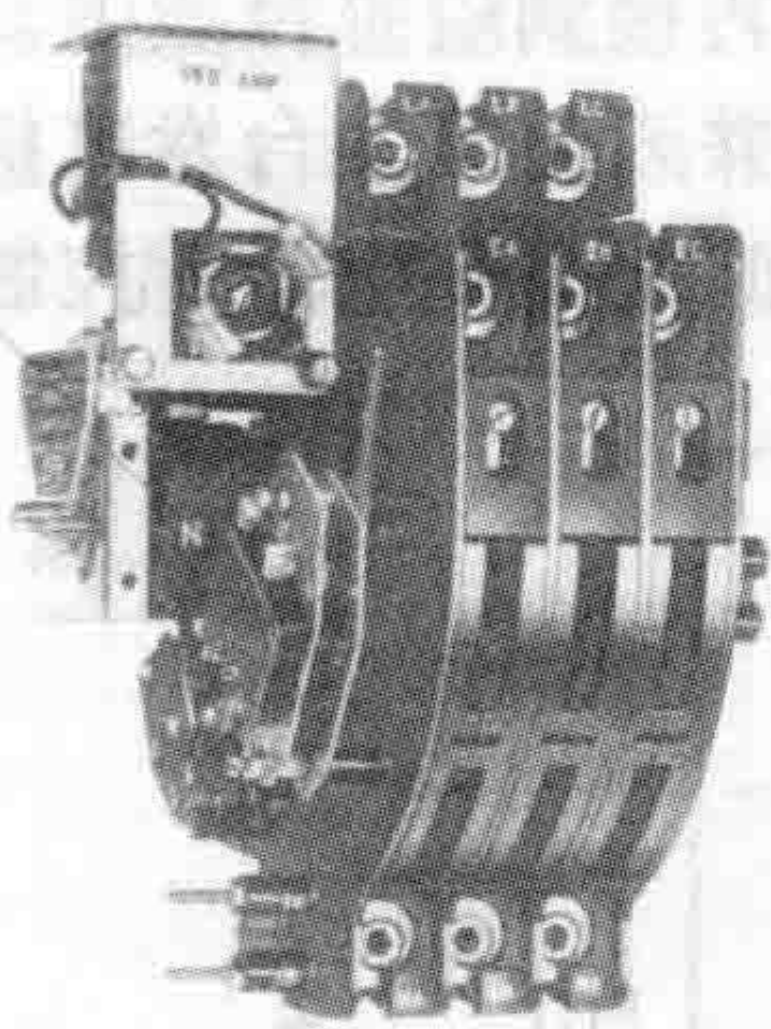


图 19-21 150A 的转换开关 (Automatic Switch 产品)

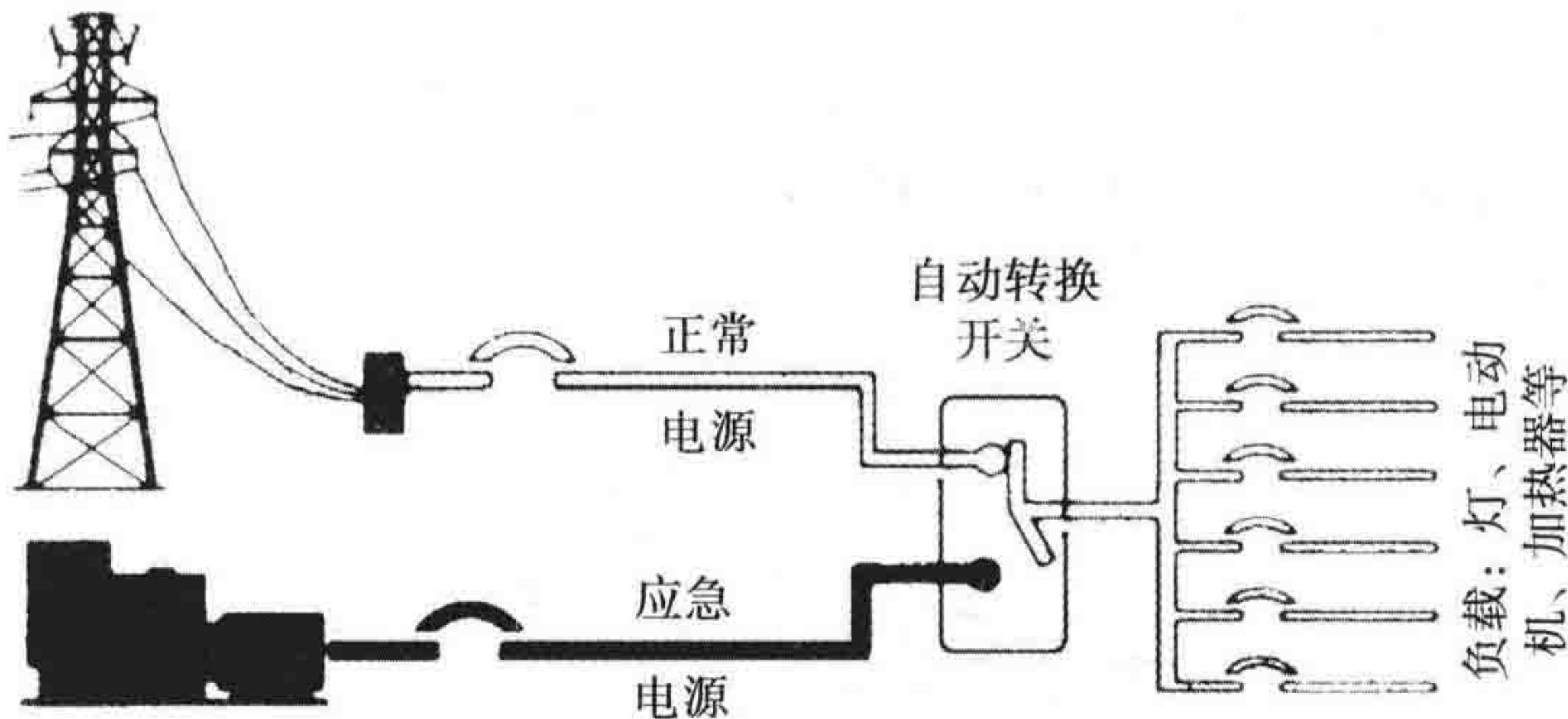


图 19-22 自动转换开关维持所选择的负载从常规或者应急电源处供电 (Automatic Switch 产品)

19.9.5 不间断电源系统

系统中的电子负载对电压和频率的变化非常敏感。一个典型的例子，实时访问的计算机需要不超过标称电压 8% 或者不低于标称电压 10% 的交流电力系统来供电。允许的频率偏差通常是  $\pm 0.5\text{Hz}$ 。除了上述的偏差外，一些数据处理负载会受到偏差变化的影响。为了保护计算机系统，已开发了不间断电源系统 (UPS)。

基本上，有两种类型的 UPS：电动机 - 发电机飞轮组和带有备用电池的静态逆变器。由于固态设备的发展，现在更常用的 UPS 是带有备用电池的静态逆变器。这主要是由于这种设备每  $\text{kV} \cdot \text{A}$  的成本较低且不需要高起点的容量。

固态 UPS 有 3 个主要组成部分。第一部分是交流转换成直流的整流器，第二部分是带有浮充电池系统的直流母线，第三部分是将直流转换回标准交流正弦波的静态逆变器。UPS 的主要功能是隔离受保护的电子负载，使其免受电源偏差的影响。任何短时故障或发生在交流电源母线上的电压瞬变都会被过滤掉，或者被接于直流母线上的电池消除，该直流母线可向逆变器提供恒功率。

有时 UPS 的电池要求有较长的供电时间以维持逆变器的输出 (超过 3~5min)。重新连接交流电源与整流器时，UPS 吸收的功率不仅要为输出负载提供电能，而且也要为电池重新充电。

19.9.6 多发电机组

如果有两个重要负载，并且其中一个比另外一个更重要，那么可以采用三电源优先负载系统。该系统优先供电给优先负载，然后才是非优先负载 (见图 19-23)。

优先负载系统和三电源系统运行方式相同，不过有以下的不同。第一台发电机组达到可接受的输出后，ATS2 与自动转换开关 1 (ATS1) 的应急端相连，该自动转换开关是一个六刀双掷开关。ATS2 的双掷操作同时将 ATS3 的应急端连接到另一台发电机组上。当那台机组达到可接受的输出时，ATS3 将非优先负载转接到它上面。如果供给优先负载的机组出现故障，ATS2 则将另一台机组转接到优先负载上。其他内置于系统中的功能为非优先负载提供了最佳保护。

19.9.7 多电源并联系统

当需要起动和并联两个或多个发电机组来为公共母线提供应急电源时，需要一个包括逆变功率监测、同步装置、负载定序和其他组件的系统来处理与并联相关的操作。

双发电机系统如图 19-24 所示。如果正常电源出现故障或降至不可接受的水平时，控制器起动这两台发电机组。第一台发电机达到足够输出时接入应急母线运行。假设 ATS1 连接



更重要的负载，一旦第一台发电机和母线相连，它会将连接的负载转接到应急母线上。当另一台发电机达到足够的输出时，控制器将其与第一台发电机同步，并入与第一台发电机相同的母线上，然后 ATS2 转移二次侧负载。此外，只要可以从任何电源处得到电能，控制器将确保给更重要的负载供电。

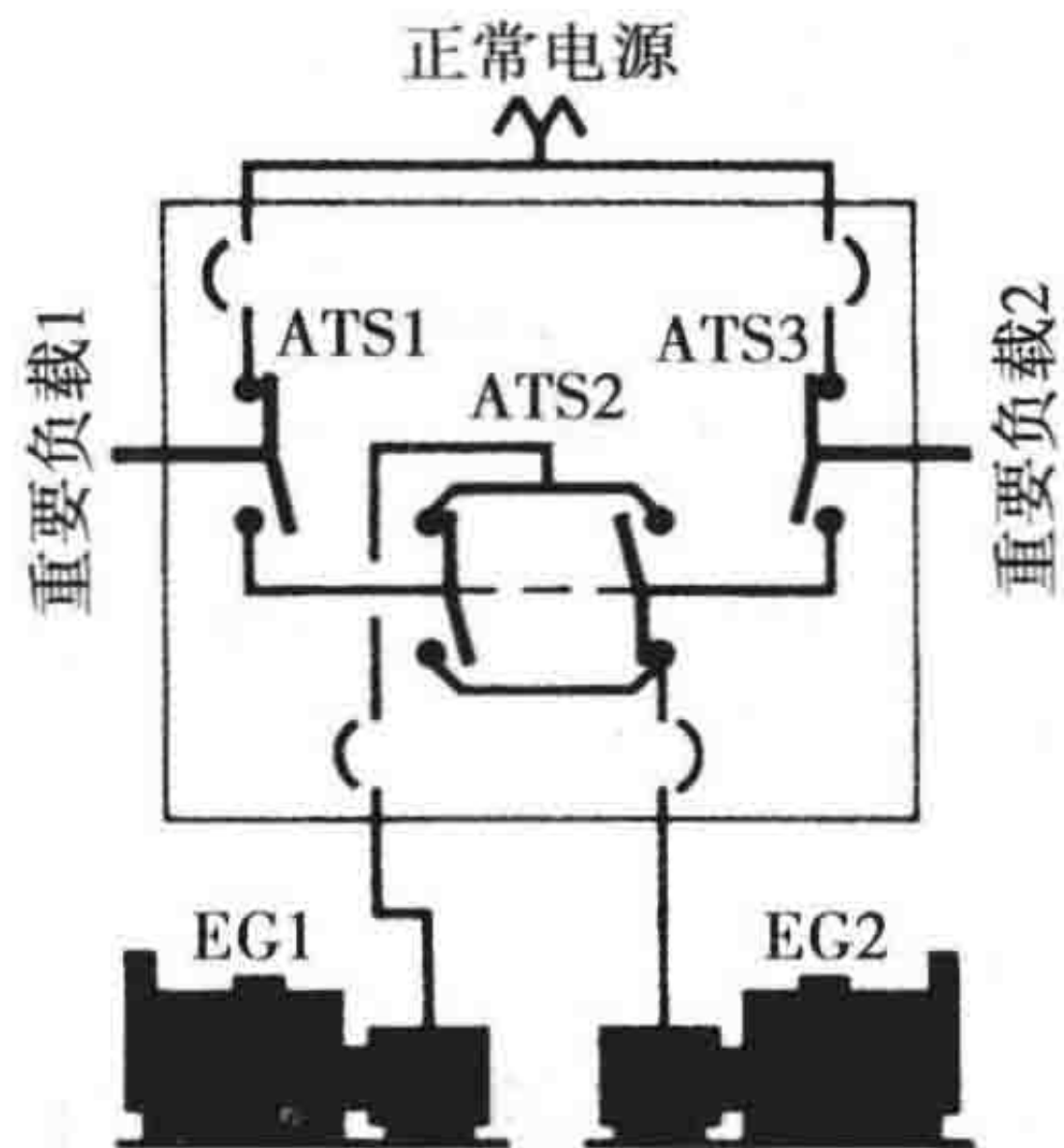


图 19-23 三电源优先负载系统 (Automatic Switch 产品)

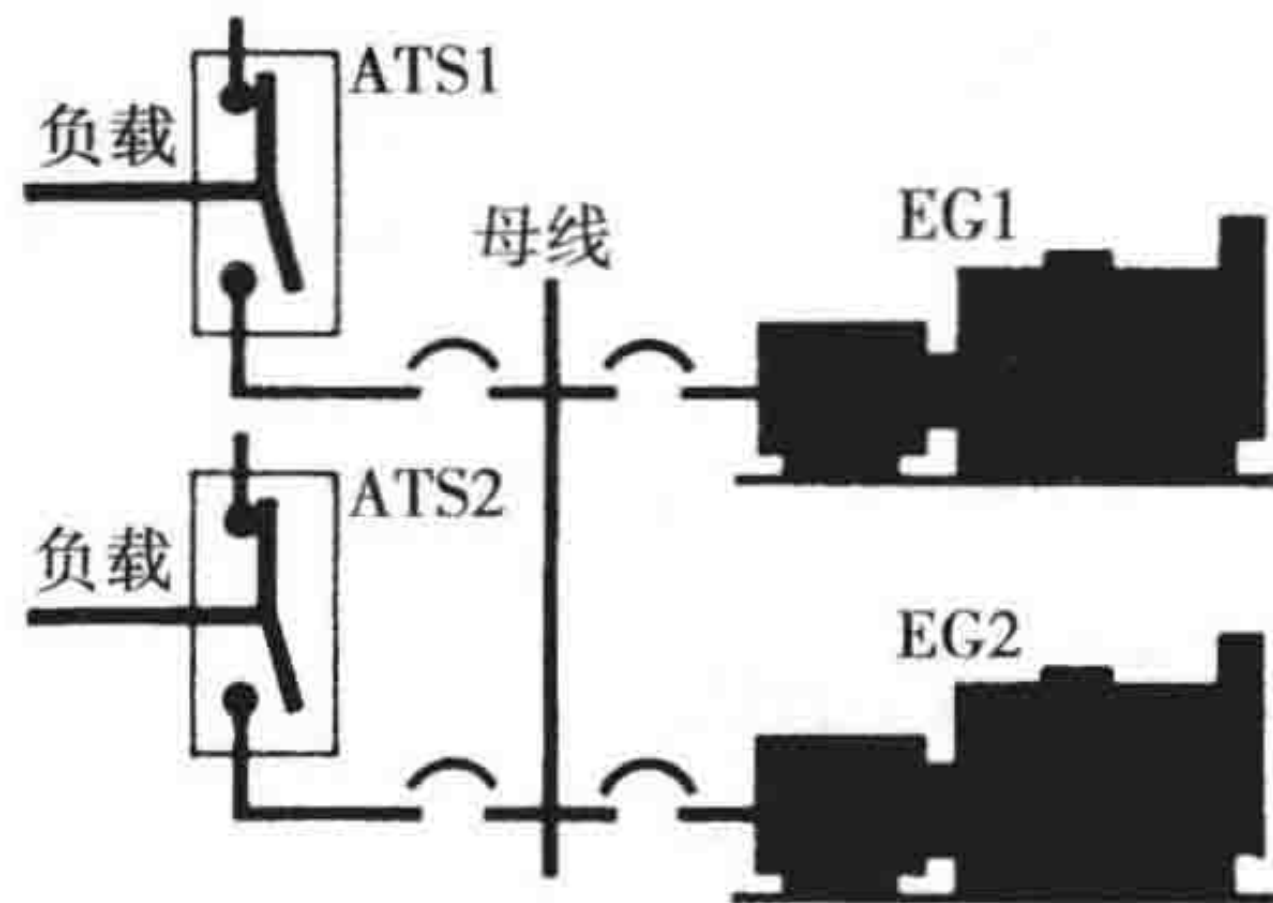


图 19-24 双发电机同步电源系统 (Automatic Switch 产品)

图 19-25 显示了多发电机系统。多发电机组因为各种原因而被使用，如经济性、可靠性或尽量减少停机时间等。多发电机系统与双发电机系统一样，用所带的控制器处理所需发电机组的数量。图 19-26 所示为电源控制系统。

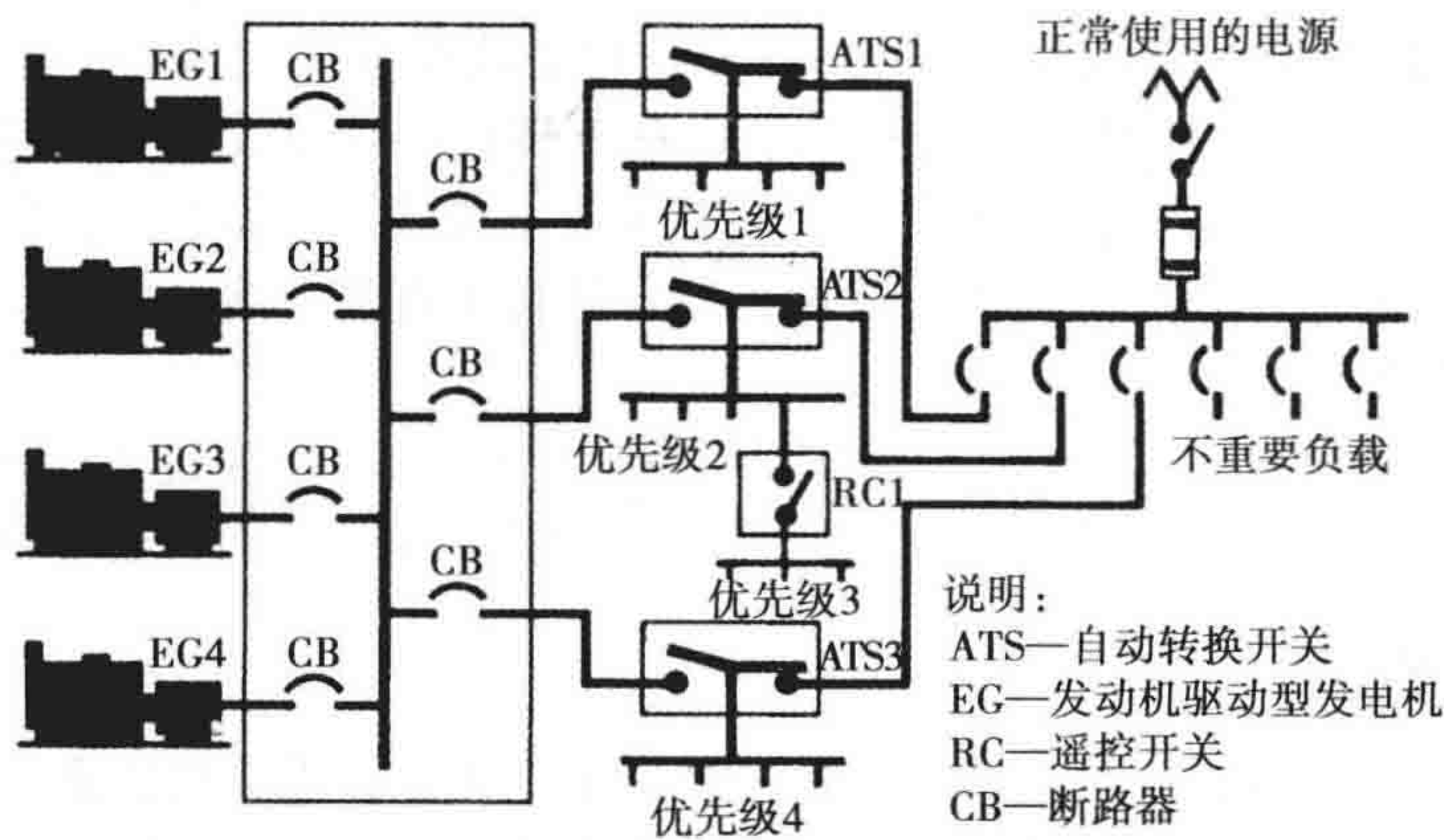


图 19-25 多发电机同步电源系统 (Automatic Switch 产品)

19.9.8 选择性负载转换系统

选择性负载转换系统是非常可靠且经济的，每次它能为所选的负载提供有限的应急电源。此系统的一些应用包括：电梯、生产过程、污水处理工厂中的多泵系统、锅炉给水泵、空调冷却装置、冷却水循环泵、设备舱和工作站等。

该系统最常应用于新建和改造的电梯系统中。在这些情况下，当正常电源发生故障时，每次可以运行一部电梯。因为备用发电机的容量选择要求是为必要的应急负载再加上仅仅一台电梯供电，所以它可以使

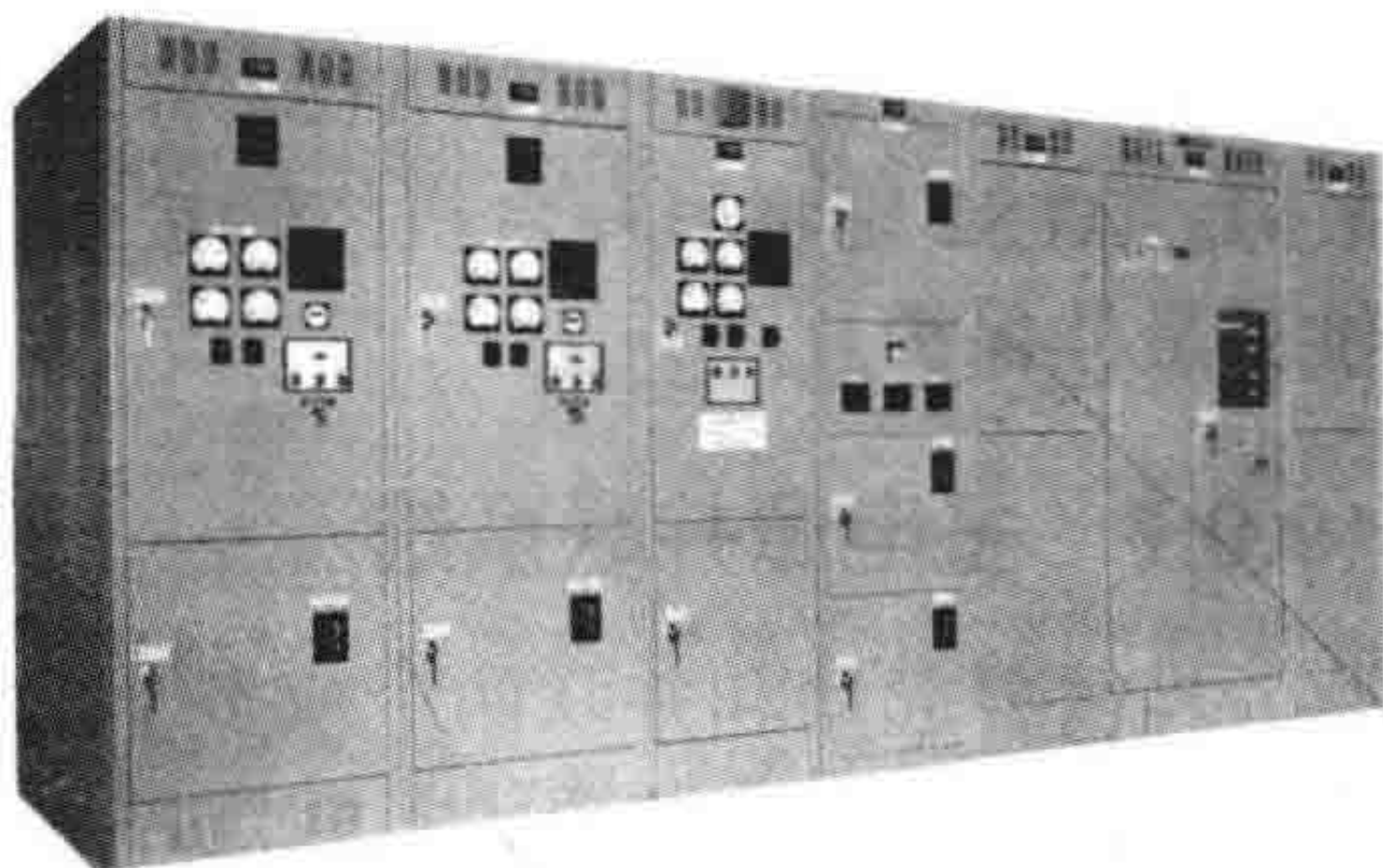


图 19-26 电源控制系统 (Automatic Switch 产品)



用最低额度的辅助电源。一旦第一部电梯到达地面或所选楼层，另一部电梯就可以连接到应急电源上。按照此顺序继续运行，每次一部电梯，直到所有电梯都安全下降。一旦供电恢复正常，所有电梯都自动恢复正常运行。图 19-27 所示为一个选择性负载应急电源转换系统。

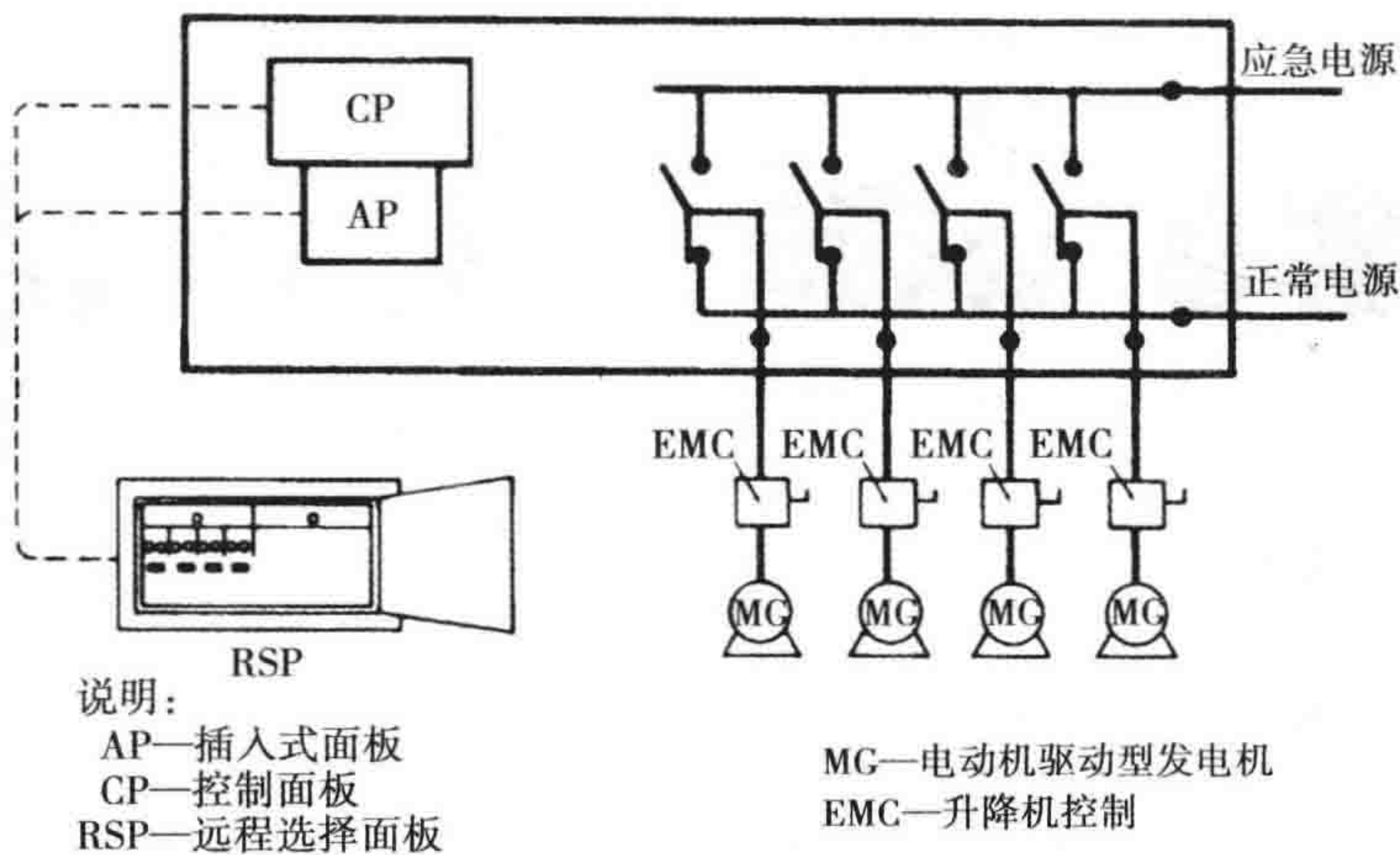


图 19-27 选择性负载应急电源转换系统 (Automatic Switch 产品)

19.10 原动机系统

因为对于清洁、连续可靠电能的需求不断增长，所以很多设施的用电需求由现场发电设备来满足。其中一些设备引入了热电联产的概念，从燃料得到的热量，除了发电以外，还可用来供热和致冷。

原动机系统可以包含任意数量的发动机驱动型发电机组。根据应用的不同，发电机组的数量取决于负载的大小和数量以及其他因素。然而，基本上，原动机的应用可以分为两类：双发动机系统和多发动机系统。

19.10.1 双电源系统

图 19-28 显示了双发动机原动机系统。原动机系统类似于双发电机应急系统，只是通常在原动机系统内任何一台发电机组都能够为全部负载供电。通常，每周使用不同机组轮流供电。这使得空闲的发电机组可以很容易进行维护保养。两台机组之间的转换可以手动或者自动控制。空闲的发电机组起动，自动同步、并网，然后并联运行一段时间使机组预热以及稳定下来。然后另一台发电机组断开连接，经过冷却之后关闭。在转换过程中，电力供应的连续性没有中断。

如果一台机组在运行期间出现故障，另一台机组就会起动，然后自动并网运行。在起动和连接空闲机组的过程中，供电的连续性不会受到影响，这一过程通常小于 10s。

19.10.2 多电源系统

图 19-29 显示了多发动机原动机系统。根据前面提到的原因可知，两台以上的发电机组在一些场合可能是必需的。然而，很少需要所有的机组同时并网连续运行。电力负载的需求会随着日期和季节而变化。因此，只需运行刚刚足够承担负载的机组数量，同时保留一些备用容量，这样不仅节省燃料，而且可以减少发动机磨损。



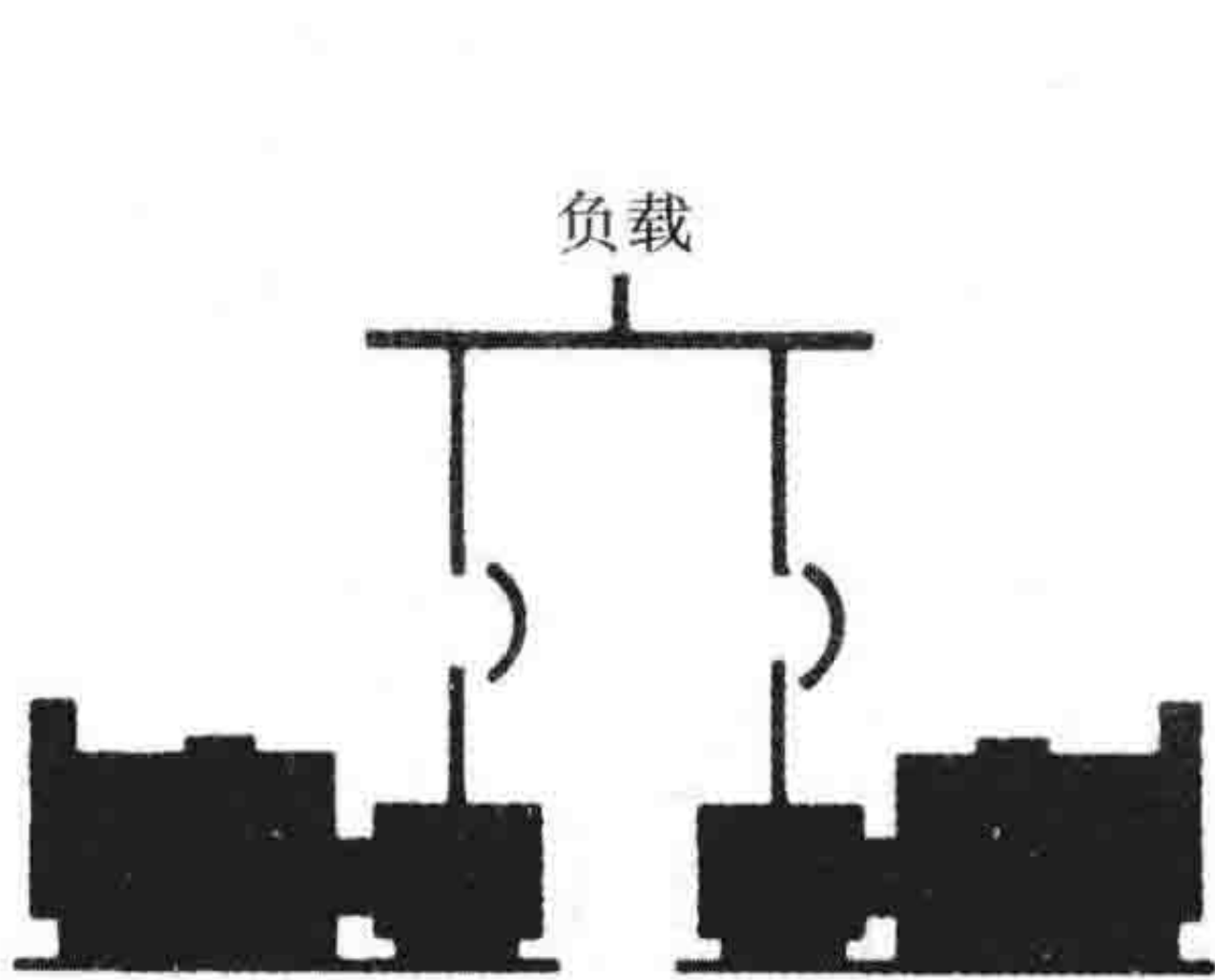


图 19-28 双发动机原动机系统 (Automatic Switch 产品)

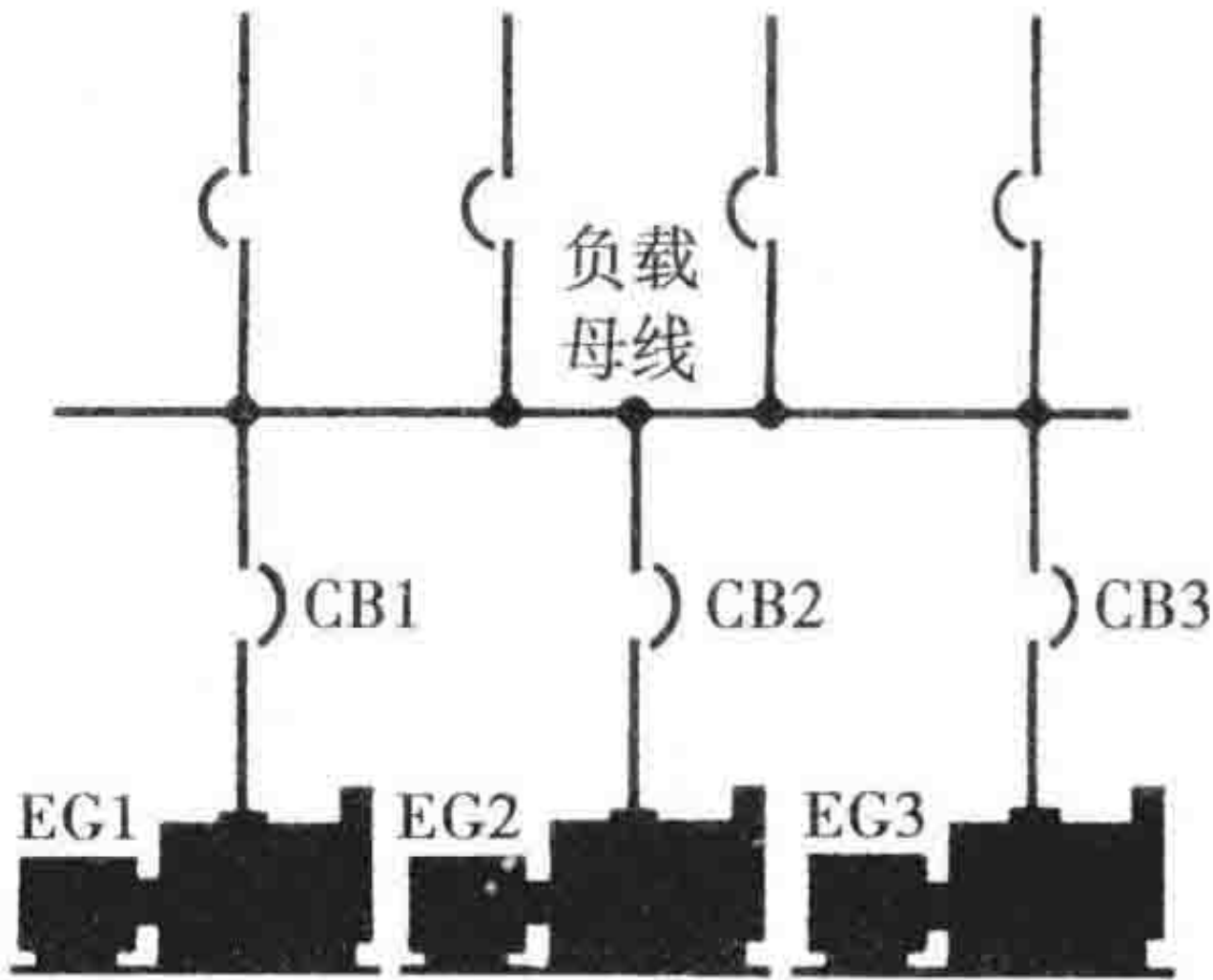


图 19-29 多发动机组原动机系统 (Automatic Switch 产品)

系统可测量利用母线进行供电的负载总功率。这样就可以只运行最小能够满足负载功率需求的机组数量。如果负载增加，控制装置控制其他机组起动、同步和并网运行来满足增加的负载需求。如果负载减小，控制装置从母线上切除多余的机组，冷却一段时间之后将其关闭。

当一台发电机组在运行时出现故障，控制装置会断开它的连接，切除一定数量的负载，以便其余机组不会过载，并依次起动下一台空闲机组。当机组的输出稳定后即可校验同步并入母线，切除的负载可重新恢复供电。通常，从故障到重新恢复供电给切除的负载所用时间不会超过 10s。

19.11 能量管理系统

热电联产系统定义为任何单一来源的热能（燃料）驱动两个过程的系统，其中第二个过程是利用第一个过程产生的废热驱动的。大多数热电联产的能量管理系统通常涉及电能生产过程（第一个过程）中废热的回收与利用（第二个过程）。

热电联产系统中的发电部分可以用两种方式运行：独立于公用电网运行或者和公用电网并联运行。当与公用电网并联运行时，按照当地公用电网颁发的指导文件要求，除了使用标准控制器以外，还必须设计继电保护。当与公用电网并联运行时，能量管理系统可使系统达到最佳的成本效益、能量转换效率和系统性能。这些系统结合控制功能可以优化在线机组生产电能的数量，使得在生产该数量电能的同时，可回收的热能正好满足热负载的需求。因此燃料消耗达到最小化，效率达到最大化。

图 19-30 显示了一个典型的热电联产系统。请注意，此图是一个与公用电网并联运行的热电联产系统。通常在商业楼宇中，回收的热量可以用来制冷。在工业建筑中，回收的热量更有可能用于加热过程。

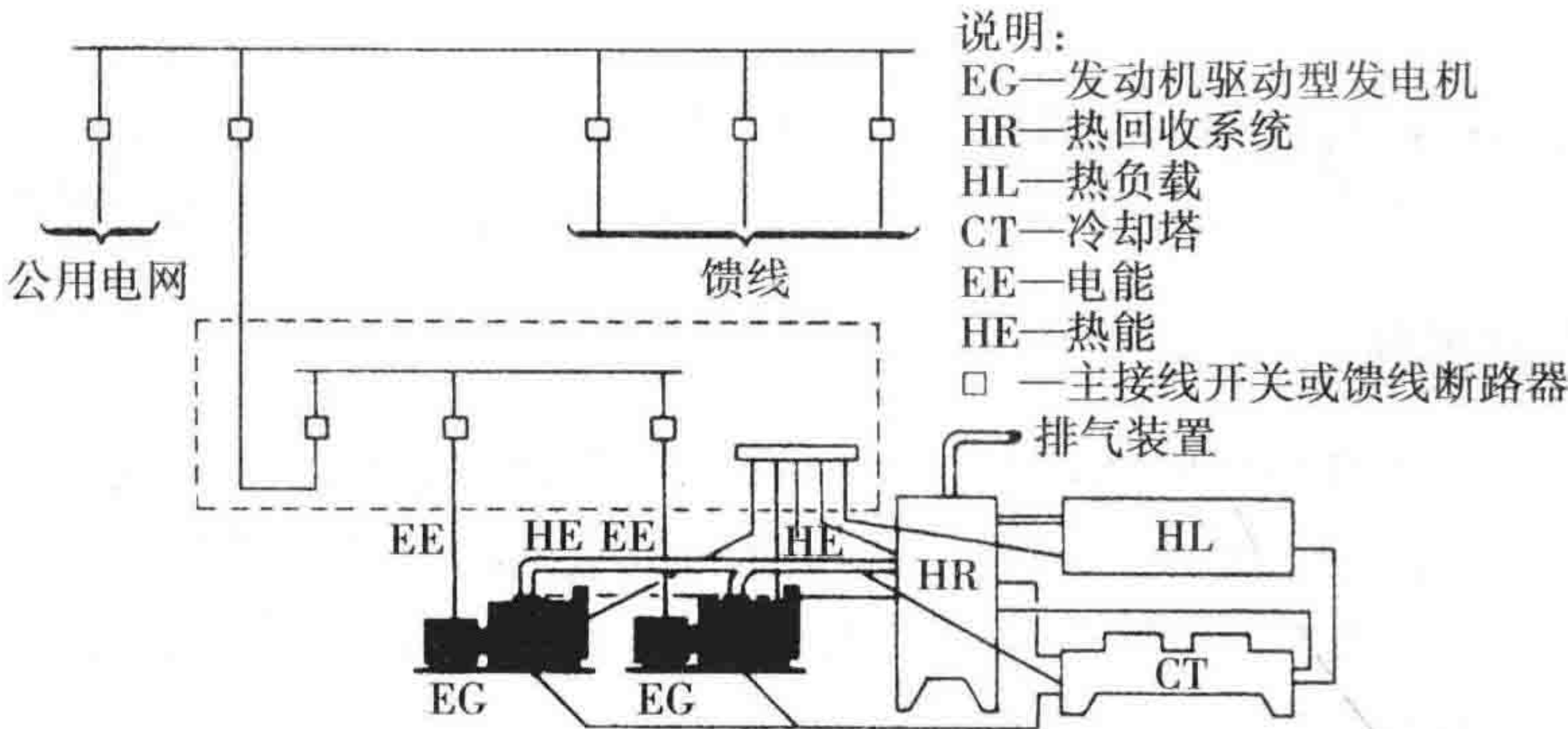


图 19-30 典型的热电联产系统 (Automatic Switch 产品)



如前所述，在原动机系统中热电联产系统除了需要提供标准的控制功能之外，还要额外增加控制功能。为了确保这些系统控制满足热电联产所有特定的要求，包括与公用电网并联运行，在初始设计阶段就应接触系统制造商，获得选取适合的控制功能及确保相互协调的建议。

19.11.1 调峰系统

当指定建筑物的总负载超过预定水平时，峰值负载共享系统（又称为调峰系统）会允许就地发电设备对其进行供电。虽然就地发电系统通常以提供紧急或备用电源作为它的主要功能，但是这种系统可以增加额外的控制以提供调峰服务。这些系统可以分为两类：与公用电网服务分离或与公用电网并联运行。

19.11.2 独立于公用电网的峰值负载转接系统

当就地发电设备独立于公用电网，并且峰值负载不是应急负载时，需要给峰值负载提供转换开关（如图 19-31 所示的 PL）。根据建筑物的总负载需求，转换开关允许指定的部分尖峰负载既可以利用公用电网供电，也可以利用就地发电机供电。这样，就避免了更高的负载需求变化。当负载需求下降到低于转换水平时，峰值负载转接至公用电网，发信号通知就地发电机关机。

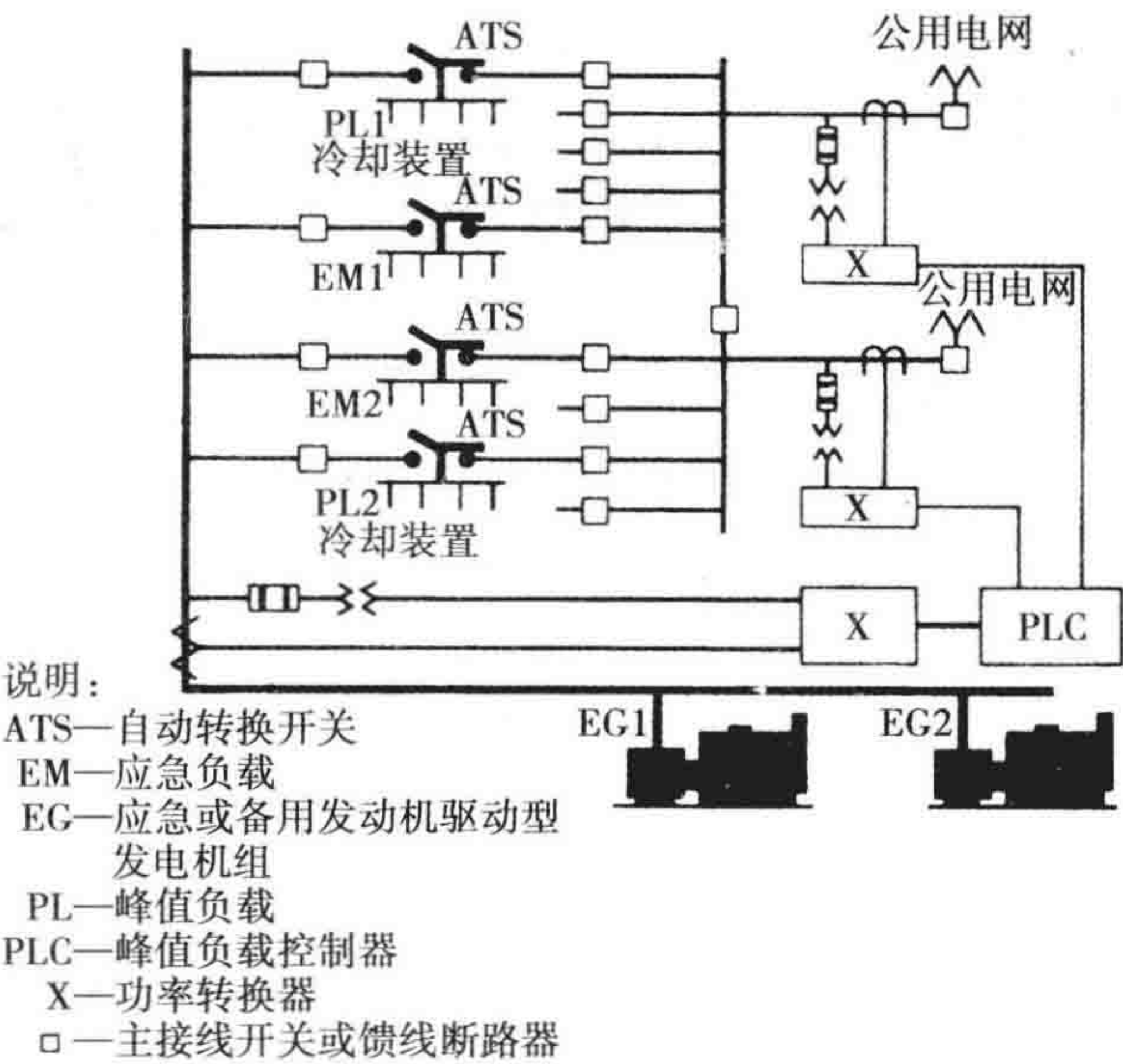


图 19-31 典型专用的峰值负载转接系统（Automatic Switch 产品）

当能量管理系统中有两台或更多台发电机组提供电能时，发电机组按要求依次并网运行。当超过公用电网的需求限制时，开启第一台发电机组，然后一个峰值负载转接到它上面。如果再次超出限制，第二台发电机组启动、同步，并与第一台机组并联运行，然后第二个峰值负载转接到发电机组上。如果足够多的峰值负载可由转换开关供电，那么就可以重复此过程，直到所有就地发电设备全部并网工作。

优先中断逻辑对于调峰系统是十分必要的，因为调峰负载有时候不一定是紧急负载，如图 19-31 所示。这种中断逻辑会根据检测到的紧急负载的大小，自动暂停相应数量的调峰负载。该逻辑把由备用电源供电的调峰负载重新转接至公用电网或者断开其供电连接，从而使得紧急负载可以立即转接到备用电源上。由于这些发电机组已经并网运行，所以紧急负载不



需要发电机组通常的起动延时就可以瞬时供电。

19.11.3 公用电网并联调峰系统

一种可选的调峰形式如图 19-32 所示，就地发电设备和公用电网并联运行。在这种情况下，不需要指定特定的负载作为峰值负载，并且不用为峰值负载添加调峰转换开关，而是由公用电网和备用发电机并联起来共同为建筑物负载供电。

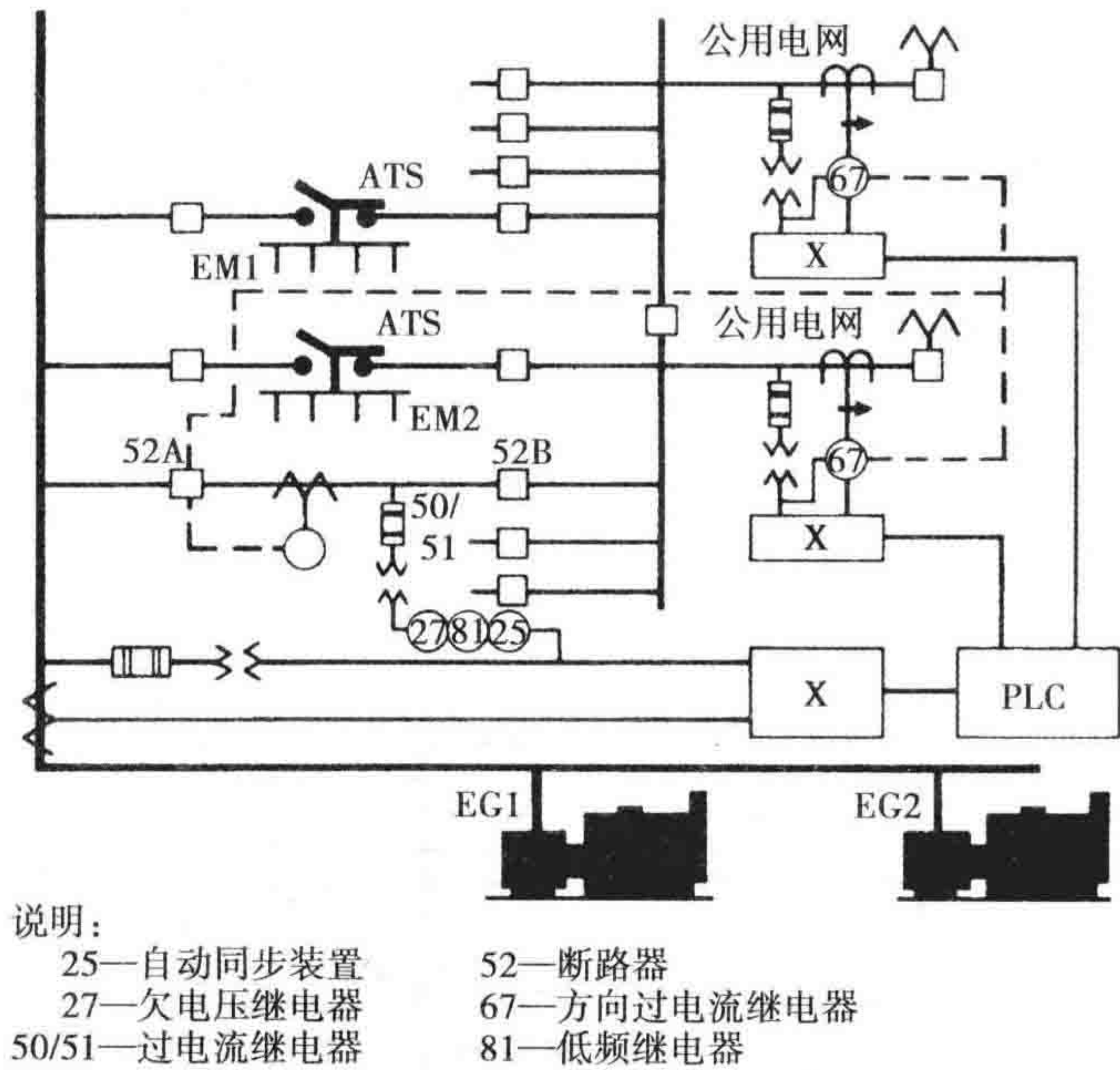


图 19-32 典型公用电网并联调峰系统

如同峰值负载转接系统，中断逻辑会根据紧急负载的功率损失自动暂停调峰。然而，发电机控制部分的操作迥然不同。调速器和调压器控制备用发电机只承担超过需求限制的那部分负载，而不是像峰值转接系统那样承担固定的负载量。发电机继续承担超过限制的所有负载，最大可达发电机组的容量限值。公用电网将会在所有的发电机组满载之后承担多出来的负载。通过这种方式，可以最小化备用发电机组所发的电量，有效完成负载功率峰值的需求限制。这种方式产生了最经济的调峰运行方式。

19.12 思考题

1. 发电机需要转多少圈才能产生 1Hz?

2. 何种类型的转子可用于低速交流电动机中?

3. 无刷励磁机的目的是什么?

4. 三相电源中两相之间的夹角是多少?

5. 在三相电源中，中性线公共端的优势是什么?

6. 交流发电机电压的频率是由什么决定的?

7. 电枢电阻对输出电压有什么影响?

8. 如何计算发电机电压调整百分比?

9. 备用发电机有何用处？什么时候使用它?

10. 转换开关的作用是什么?
11. 什么是静态逆变器？

12. UPS 有什么作用？

13. 什么是热电联产系统？

14. 为什么使用调峰系统？

15. 什么是中断逻辑？

16. 为什么采用选择性负载转换系统？

17. 什么是原动机？

18. 什么因素决定了需要使用多少台发电机组？

19. 原动机系统的两个类别分别是什么？

20. 如何实现两台机组间的转换？



### 19.13 练习题

当电动机连接到交流线路上时，功率因数起着重要的作用。绕组上有电感和电阻。快速复习如何计算功率因数，会有助于加深理解功率因数为什么频繁出现在电动机功率计算过程中。当电抗和电阻都存在于交流电路中时，电流和电压的相位差不再是只有电抗时的  $90^\circ$ ，而是小于  $90^\circ$ 。相角（由希腊字母“ $\theta$ ”表示），代表着电压和电流的相位角之差，可以迅速转换为功率因数。

1. 当电阻为  $100\ \Omega$ ，阻抗为  $100\ \Omega$  时，电路的相角是多少？这代表了什么情况？
2. 当电阻是  $100\ \Omega$ ，阻抗为  $150\ \Omega$  时，电路的相角是多少？
3. 如果一个  $500\ \Omega$  的电阻与一个  $1\text{H}$  的电感串联接在  $60\text{ Hz}$  的  $120\text{ V}$  线路上，相角是多少？
4. 当  $1000\ \Omega$  的电阻串联  $1.66\text{H}$  电感接到频率为  $60\text{Hz}$  电源上时，此时感抗为  $628\ \Omega$ ，那么电路的相角为多少？



# 第 20 章

## 配 电 系 统

### 20.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 确定发电 / 配电系统的构成。
2. 列出现有的商业发电系统。
3. 描述下面的辐射式配电系统：一次侧环网、二次侧网络、一次侧选择、二次侧选择。
4. 解释简单的网络配电系统的运行原理。
5. 解释如何计算故障电流。
6. 画出三相电源电路中功率表的接线原理图。
7. 解释变压器在配电系统中的作用。
8. 画出配电变压器组连接的示意图。
9. 解释如何转供负载。
10. 描述配电系统中的电缆桥架系统。

### 20.2 商业交流电的起源

使用磁力发电是最常见的供给商业、住宅、工业、医院和其他机构的大规模发电方式。一个简单的交流发电机由一个单环线圈缠绕一个铁心组成。随着线圈旋转并切割磁力线，根据磁场强度和磁力线的极性，在线圈内部会感应出电动势，这在第 19 章已讨论过。我们感兴趣的是被称为交流发电机的大型设备发出交流电的方式。交流发电机也可以安装在杆架上靠风力驱动运行，它们也可以使用在汽车上由发动机驱动为汽车供电。在某些情况下，发出的交流电被转化为直流电给蓄电池充电，然后通过电力电子装置转换成合适频率的交流电，为商业和住宅供电，多余的能量可能输送给电网给更大的区域供电。

#### 20.2.1 水力发电机

使用汽油或柴油发动机产生机械能或者使用水力或核能，其发电原理都是相同的。尼亚加拉电力项目就是利用水力发出大量电能的例子，它是世界上最大的水力发电站之一。尼亚加拉两个发电厂的总装机容量为 2190MW。这些设施通过 340mile (1mile=1609.344m) 的输电线路与圣劳伦斯河上的另一座水坝系统相连。

尼亚加拉瀑布地区的罗伯特·摩西电厂的发电部分由 13 个单元组成。每个单元都有一个法兰西式液压（水驱）涡轮机，它的额定功率为当水从 300ft (1ft=0.3048m) 上方落下时产生 200 000hp (1hp=746W)。150 000 kW 的发电机运行在 120 r/min，三相，60Hz 的条件下。这些发电机安装在舱板下，有可拆卸的舱盖，如图 20-1 所示。起重机位于顶部，并且可以移动到发电机机座上方，用来吊装水轮机的旋转部分和发电机。变压器位于发电机后的舱板上，在外形是



黑色矩形的构筑物下面。

20.2.2 开关站

尼亚加拉开关站占地 35 acre ( 1 acre=4046.856m<sup>2</sup> ), 位于动力水渠的南面, 罗伯特·摩西和刘易斯顿发电厂中间。开关站的作用是收集和测量发电机发出的电力, 并通过输电线路输送出去。开关站有 3 个电压等级: 115 000V、230 000V 和 345 000V。罗伯特·摩西发电厂通过 7 条 115 000 V 电缆和 6 条 230 000 V 电缆线路向开关站输送电力。电缆铺设在地下隧道中, 这些电缆, 总长 61 620ft, 内部充满总共 138 000USgal ( 1USgal=3.78541dm<sup>3</sup> ) 特殊绝缘油 ( 见图 20-2 )。电能以 115 000V、230 000V 和 345 000 V 的电压传输到很多地方, 如纽约州, 北至蒙彼利埃和佛蒙特州。发电机发出电能的电压为 13 800 V, 并且在送到开关站之前被附近的变压器升压至 115 000 和 230 000 V。

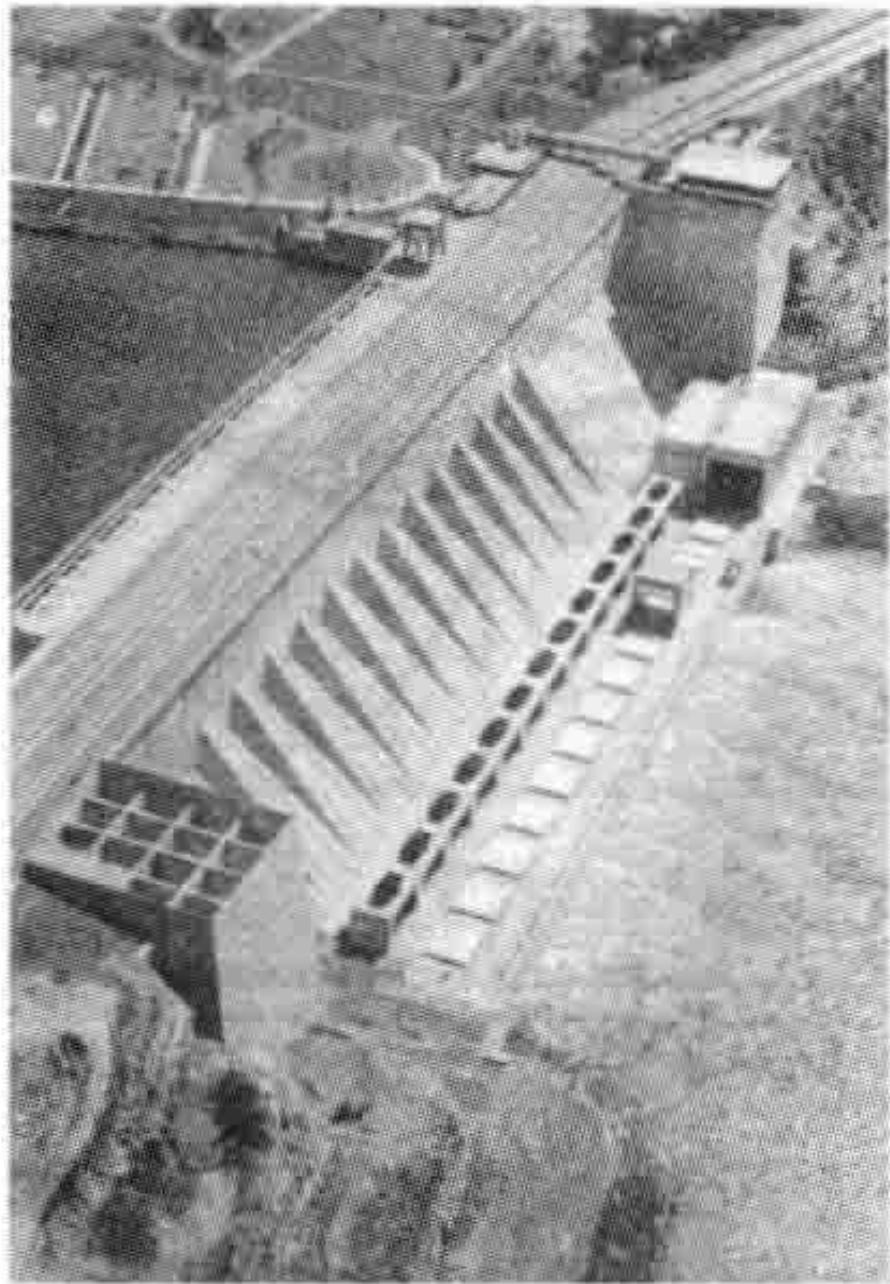


图 20-1 罗伯特·摩西发电站, 尼亚加拉瀑布, 纽约

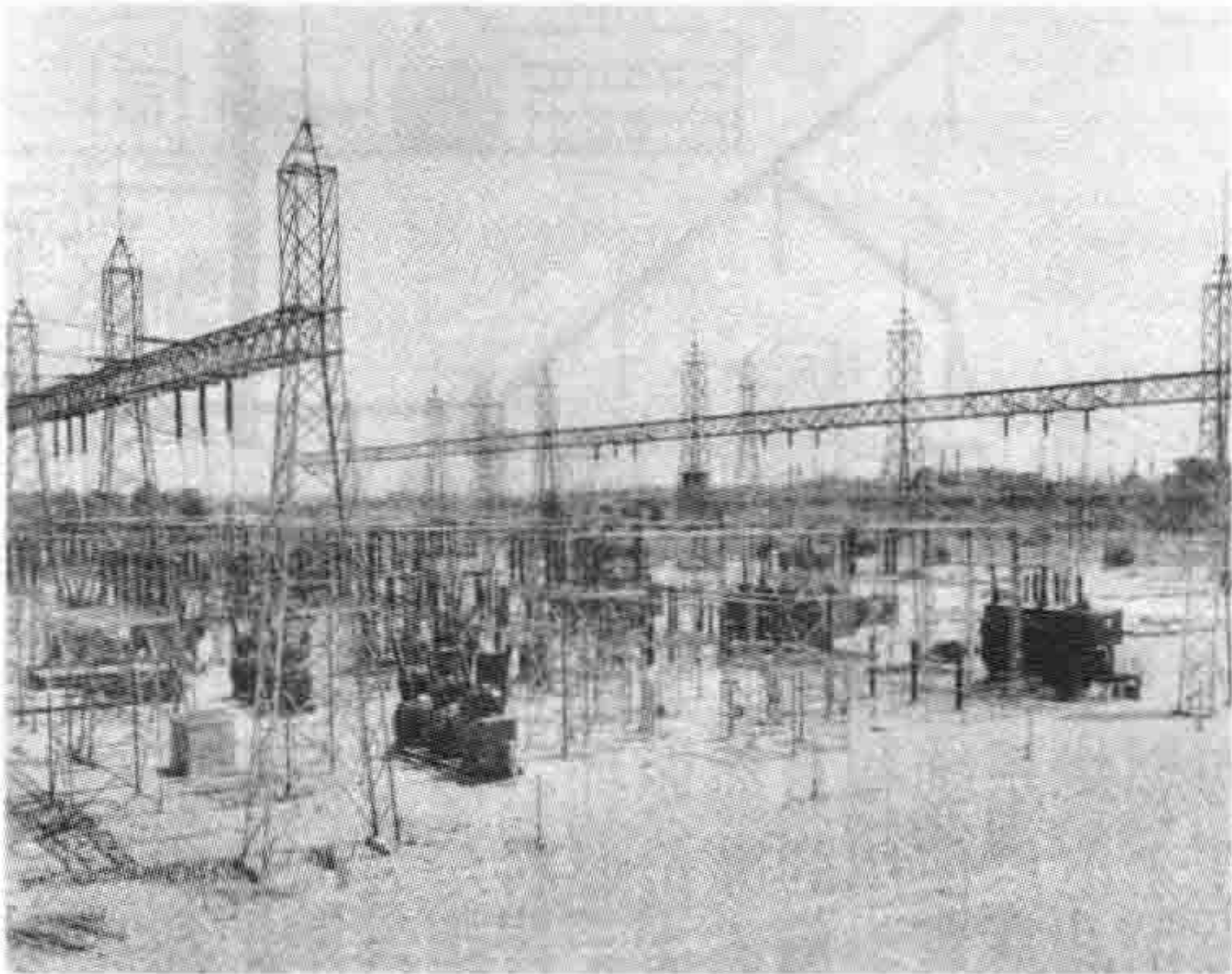


图 20-2 开关站

20.2.3 核能发电机

核电站类似于化石燃料电厂。它们的主要区别是生成和控制热量的方式, 以及产生的蒸汽推动涡轮发电机运行方式的不同。在核电站中, 燃烧煤炭、石油或天然气的燃烧炉被包含核燃料的反应堆所替代。核裂变过程会产生能量, 裂变过程中原子核被中子撞击而分裂。撞击碎片或其裂变产物以极快的速度飞离而去, 当它们与周围的物质碰撞就会产生热量。

图 20-3a 显示了使用气冷快中子增殖反应堆的老核电站, 图 20-3b 显示了使用液态金属快中子增殖反应堆的一些其他类型的发电厂。

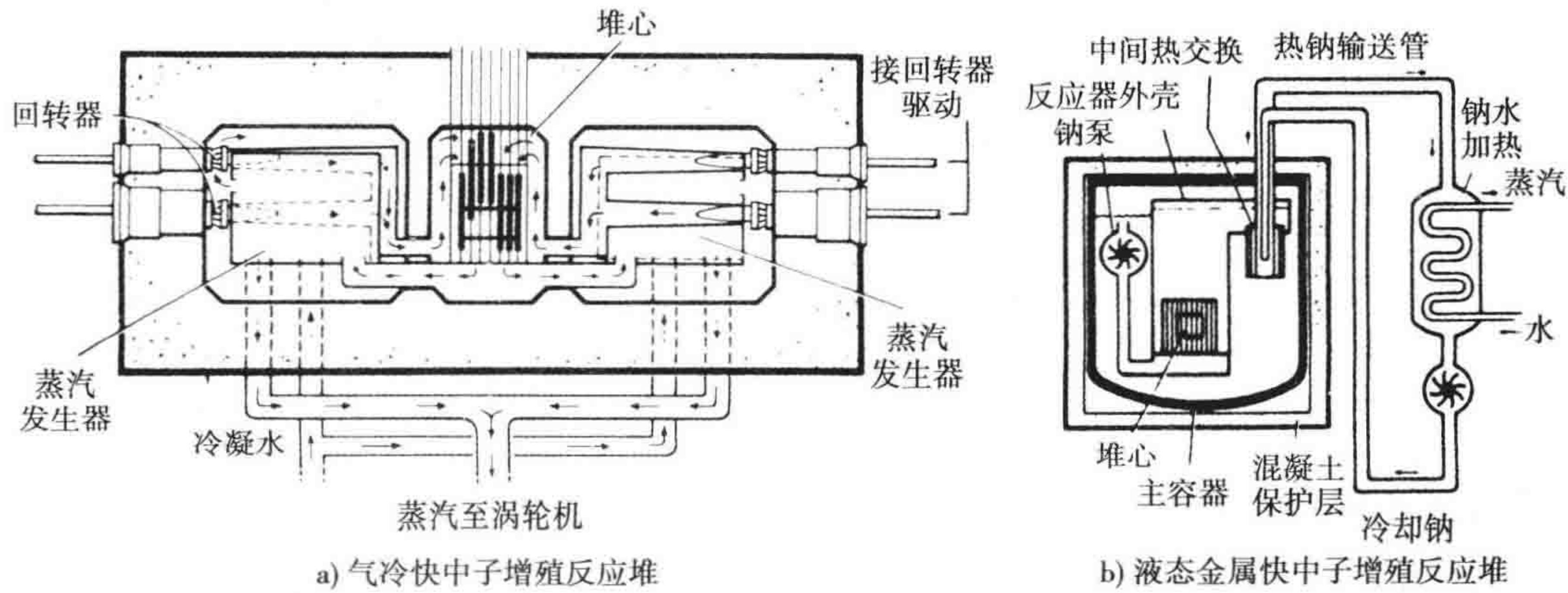


图 20-3 核电装置



20.2.4 化石燃料发电机

火力发电的原理是由蒸汽驱动涡轮机，再由涡轮机驱动发电机发出电力的，而蒸汽必然需要热量才能产生。热产生的方式往往成为一个相当困难的工程问题。随着化石燃料可提供可靠热能的发展，一些前期设计问题已经简化了。几乎所有的物质都可以用作燃料，如果这些物质可以被粉碎并放入具有极高温度的熔炉中，它们就会燃烧起来（见图 20-4）。

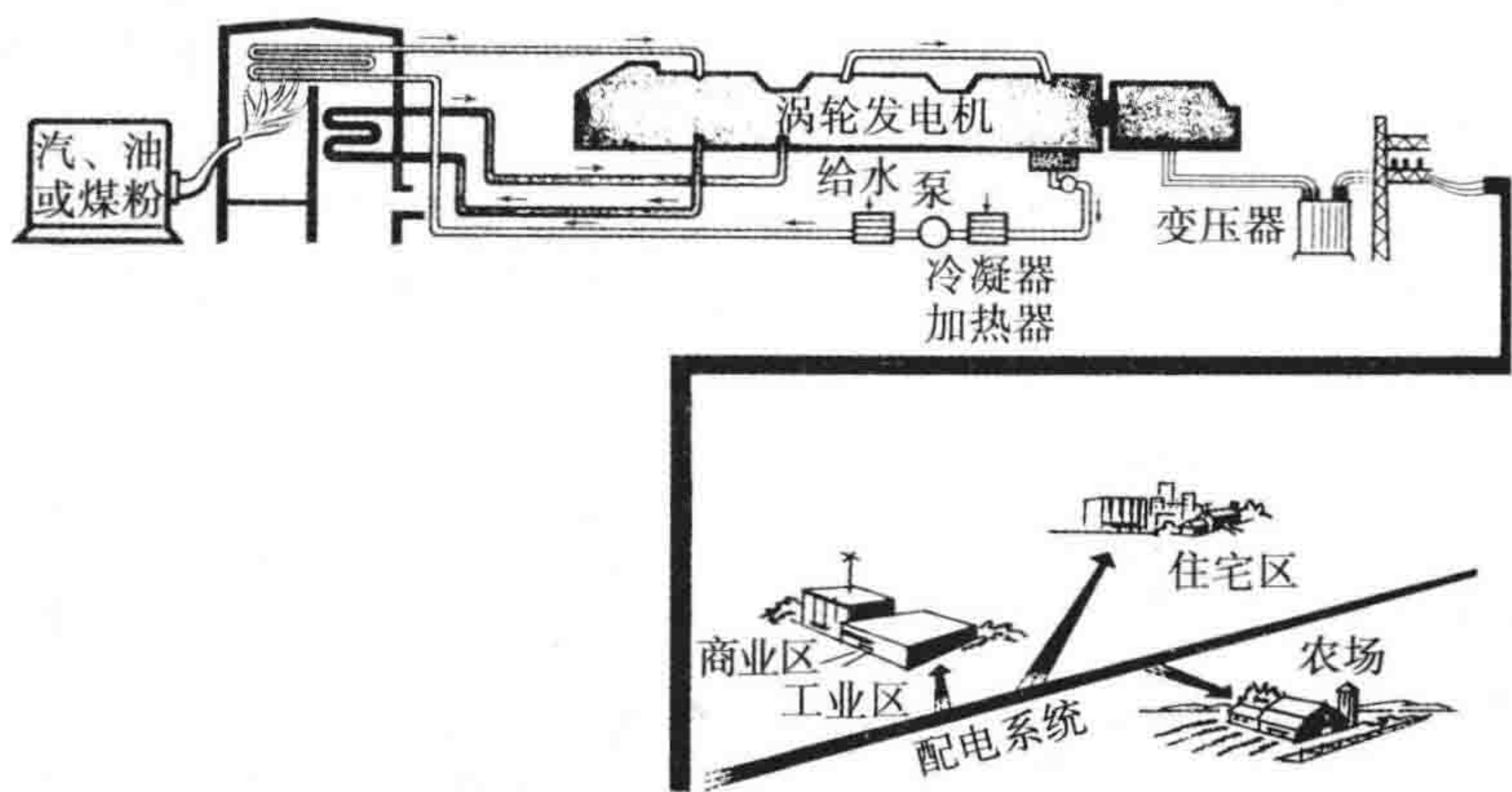


图 20-4 传统的化石燃料电厂

图 20-5 展示的是蒸汽发生器（侧视图），它采用切向燃烧系统和自然循环。当下极受关注的问题在于电厂使用的廉价燃料对大气造成了污染。煤中的硫与云层中的水汽结合产生酸雨，对树木和溪流造成很大损害。

电可以由化石燃料驱动的发电机发电、由原子能驱动的发电机发电或由水力驱动的水轮发电机发电，也可以通过发动机驱动的发电机发电产生。如在阿拉斯加，由于结冰和风力条件会导致线路损坏，建设长距离配电线路是不切实际的，所以发动机驱动型发电机就是通常的选择。

20.3 配电

一旦电力生产可以满足大量消费的程度后，下一个必要的步骤就是将能源送到消费者身边。配电的一个问题在于如何铺设和维护长距离线路（见图 20-6）。

最好的配电系统是在最经济和安全的前提下，可以为现在和将来可能的负载提供充足的电能。对于一个特定建筑或工厂，最好的系统是要考虑到电气设备的需求。对于不同类型的负载需要有多种不同类型的系统来确保其电力供给。

配电系统的类型

最简单的类型是辐射式配电系统。然而，当有其他特殊问题或环境要求时，就需要采用

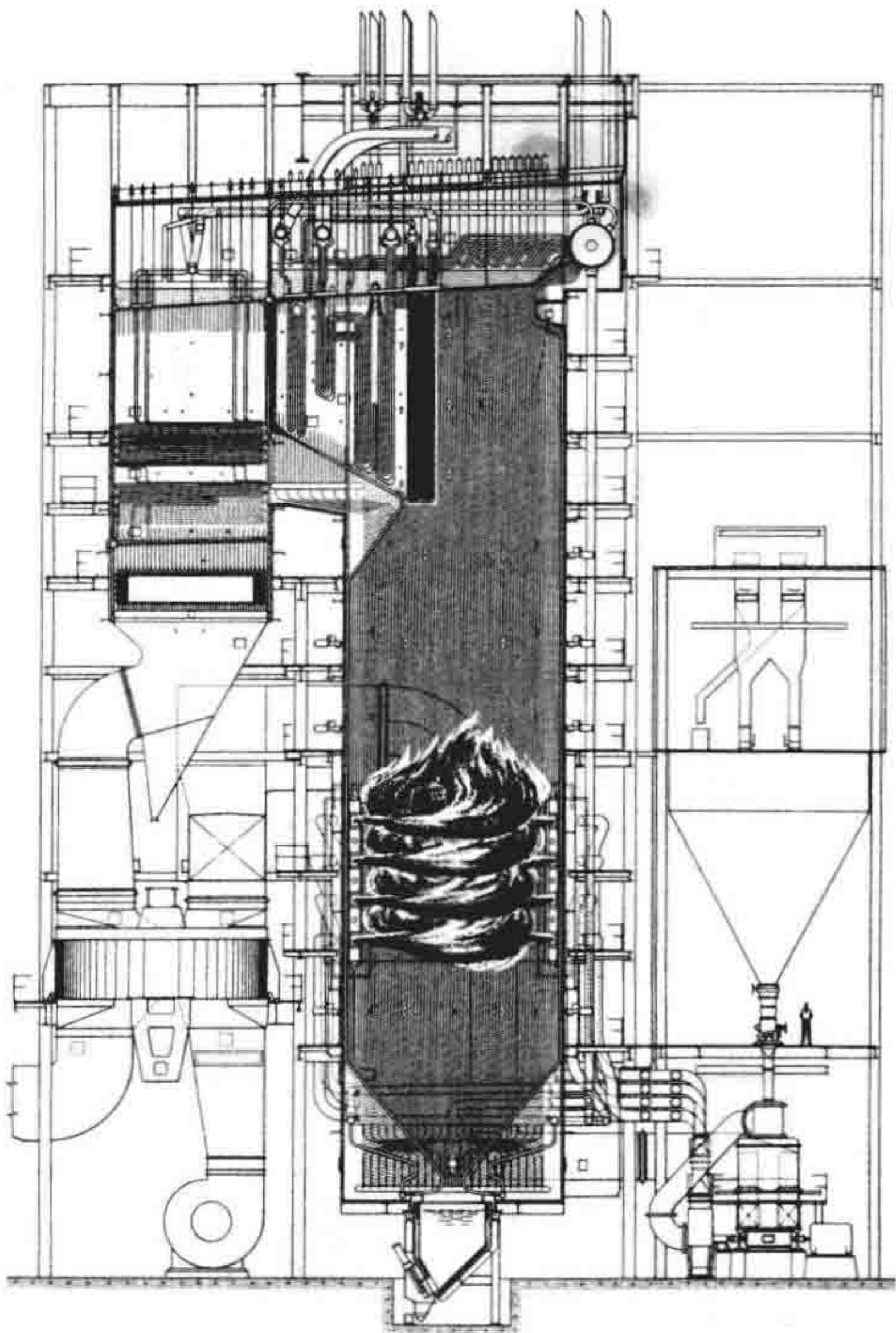


图 20-5 采用切向燃烧系统的蒸汽发生器（侧视图）



一些有特定优势的供电方案。在绝大多数情况下，电能以用电电压供给一栋建筑。在这种情况下，建筑内几乎所有的配电系统都采用简单的辐射式系统。在该建筑内有比用电电压更高等级电压的情况下，需要使用一些其他的系统。

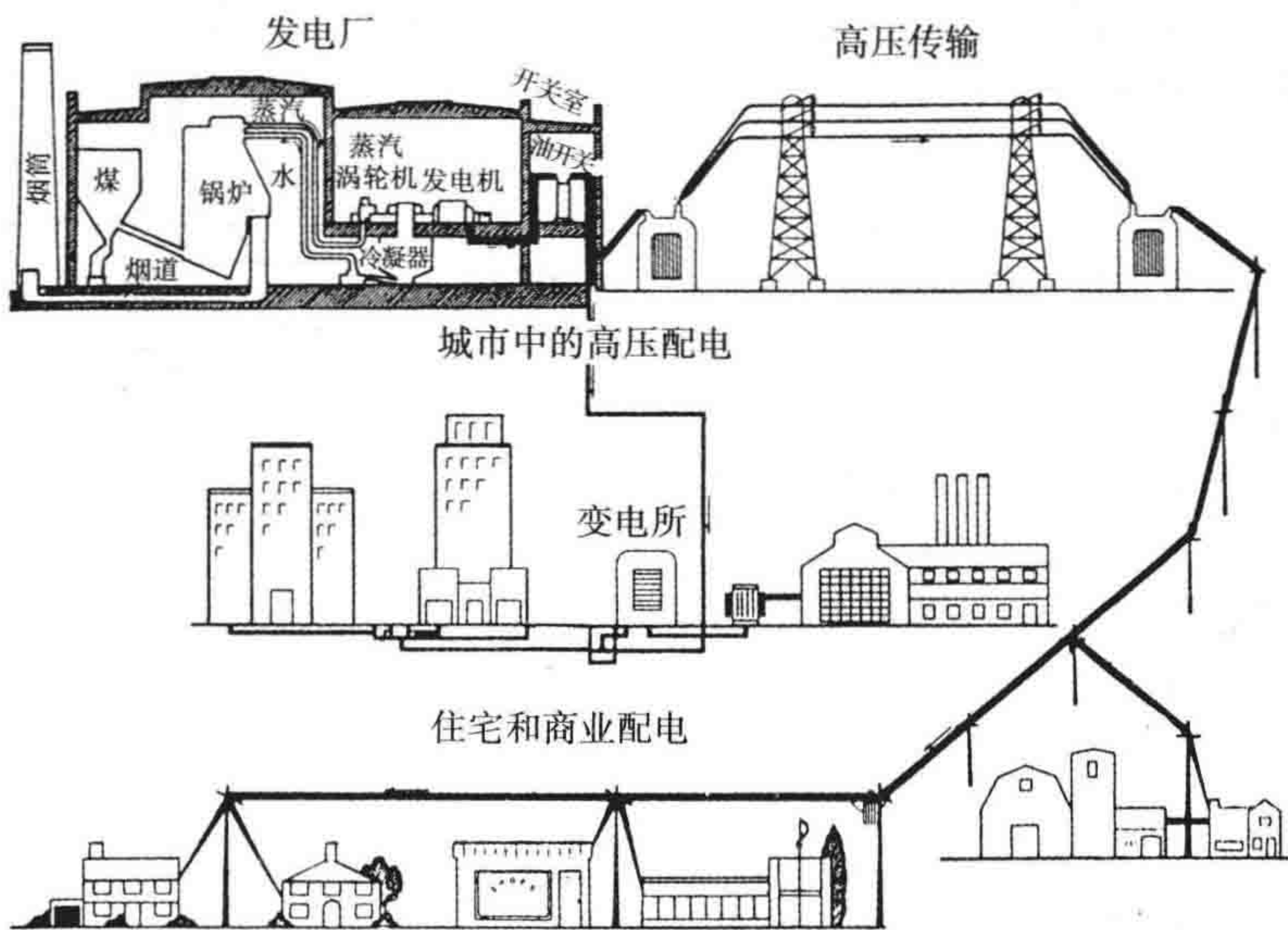


图 20-6 发电系统，发电厂到用户

**简单辐射系统** 传统的简单辐射系统连接单一的变电站以公共供电电压接收电能，并将电压降到用电电压。在某些情况下，公共供电电压就是用电电压等级，则变电站就变成配电开关柜了。

低压馈电线路从变电站母线连接到位于负载附近的开关柜、开关站或配电盘，如图 20-7 所示。每条馈线都通过断路器或其他过电流保护装置连接到变电站母线上。相对较细的线路则将电力从开关柜、开关站和配电盘输送到负载上。

现代的简单辐射系统是前述系统的改进系统。它在一次电压下分配电能。在建筑内部的几个负载区域中，通过动力中心的变压器将电压等级降到用电电压等级。变压器通常通过一个断路器连接到相关的负载母线上（见图 20-8）。每个动力中心都是一个工厂组装的单元变电站，包括一台三相油浸或风冷变压器、一个整体安装的一次开关（通常是断路器）和一些低压断路器。电流通过这些低压断路器及低压线路传输到负载。

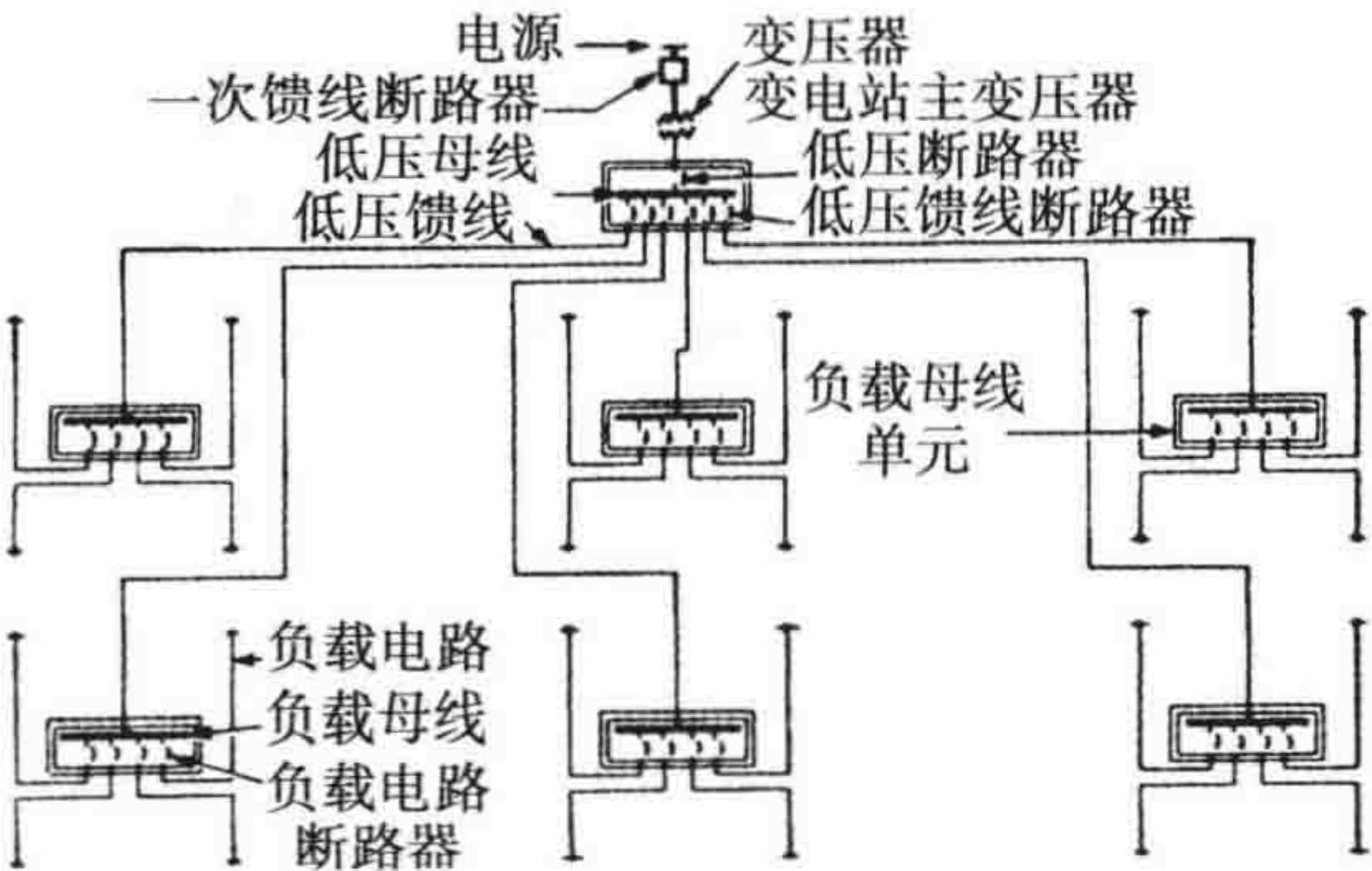


图 20-7 传统的简单辐射系统（Westinghouse 产品）

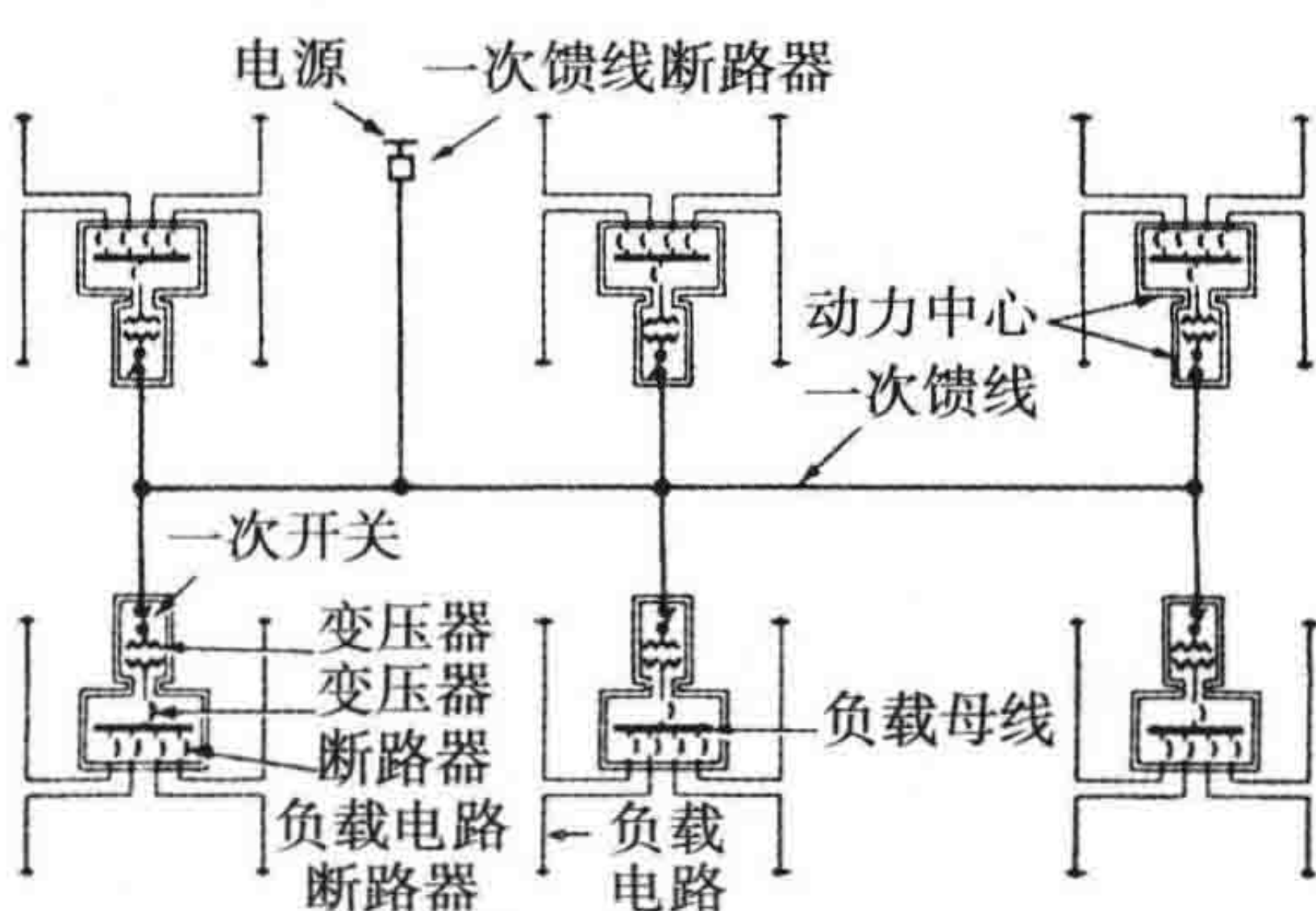


图 20-8 现代的简单辐射系统（Westinghouse 产品）

一种简单辐射系统的改进称为改进的现代简单辐射系统（见图 20-9）。在这种形式下，



每台变压器由 1 根一次馈线供电。该系统与之前简单辐射系统中的单一变电站形式相比供电连续性相近。这个系统通常价格昂贵。如果用带熔断器或者不带熔断器的负载开关代替自动馈线断路器，成本可以大幅减少，这是因为一个自动断路器的成本相当于若干个负载开关的成本。

如果馈线出口采用负载开关代替断路器，那么一次馈线若出现故障将中断对所有负载的供电。只有断开和故障区域相连的负载开关，然后闭合一次馈线断路器，才能恢复对非故障馈线下负载的供电。故障馈线下的负载只能在故障修复之后才能恢复供电。

**一次侧环网辐射系统** 这种系统类似于简单辐射系统的现代形式，当一次馈线或变压器出现故障时，它可以快速恢复供电，如同改进的现代简单辐射系统一样（见图 20-9），但成本更低。一个一次馈线断路器控制环路上的一段，而不是控制一条辐射式一次馈线，如图 20-10 所示。

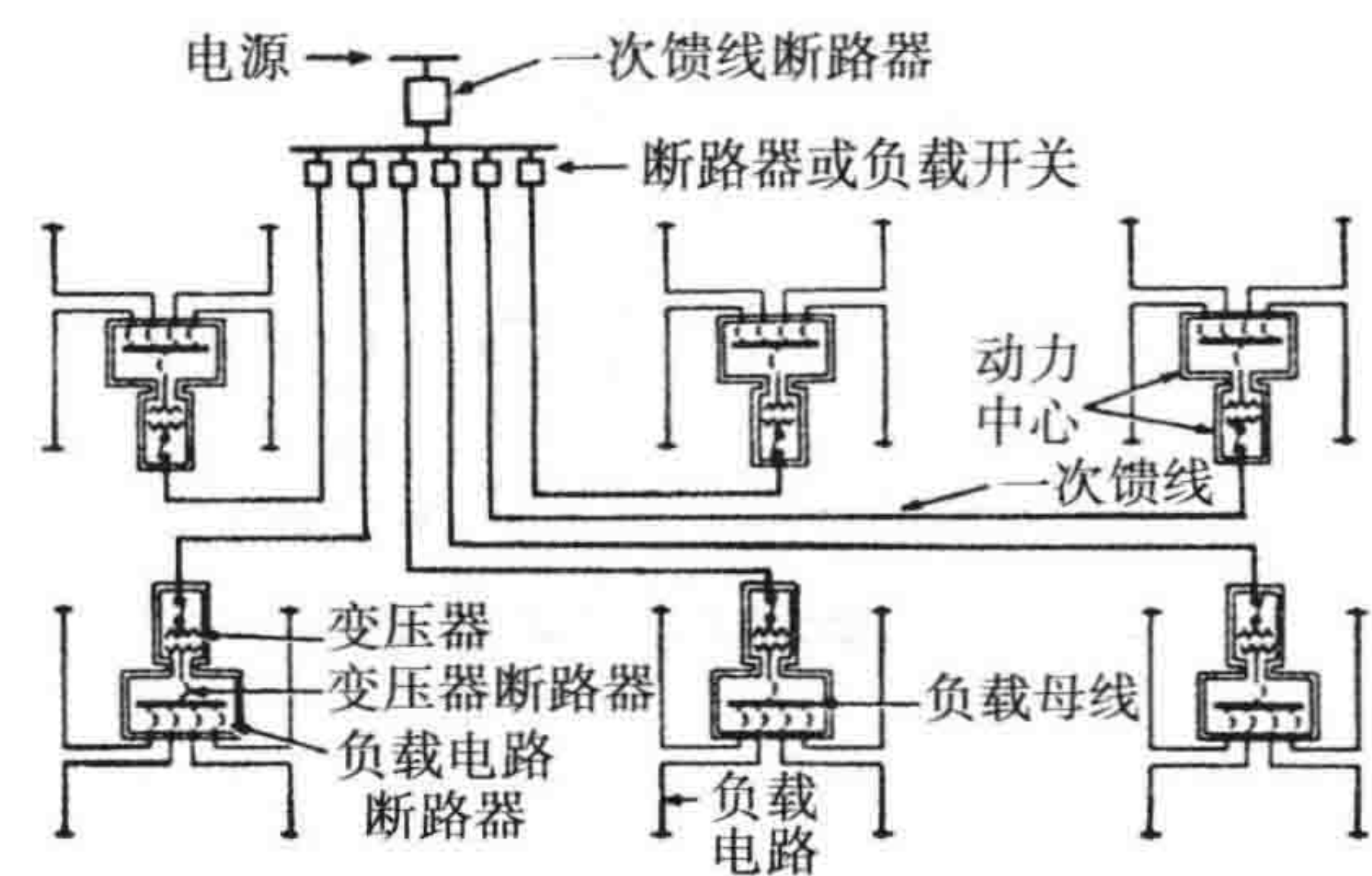


图 20-9 改进的现代简单辐射系统 (Westinghouse 产品)

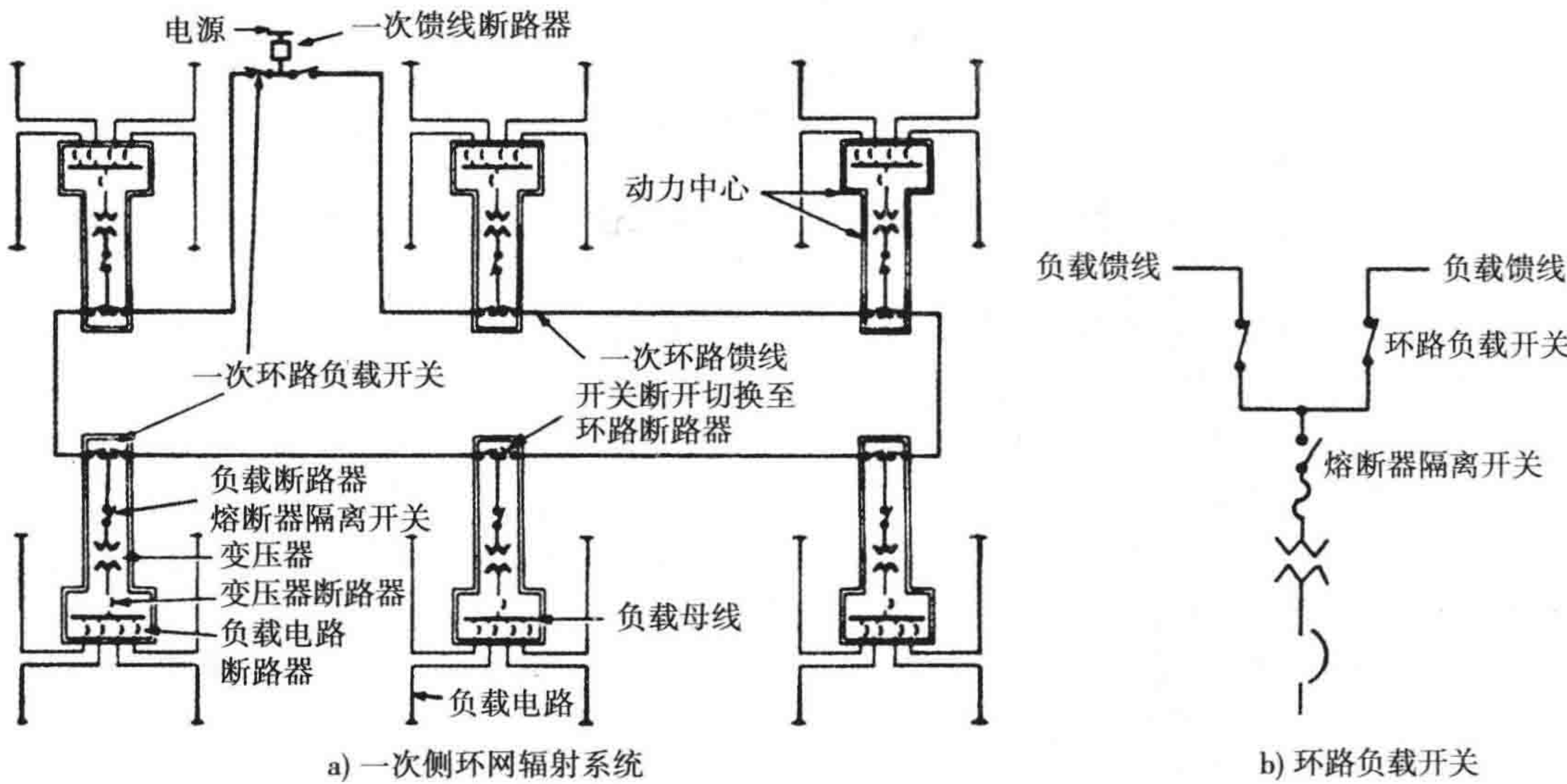


图 20-10 一次侧环网辐射系统示意 (Westinghouse 产品)

**二次侧网络辐射系统** 该系统能够快速恢复所有因一次馈线或变压器故障而断开的负载供电。当一次环路上的部分区段或变压器发生故障时，它使用变压器低压侧的二次环路提供紧急电力供应（见图 20-11）。

二次环路除了提供紧急恢复供电服务之外，还有许多重要的优点。它有助于平衡变压器的所有负载，因此不需要将负载中心的变压器容量与连接到每一个负载母线上的负载相匹配。相比于其他类型的辐射系统，这个系统能更好地适应大电动机的直接起动，因为起动电流通过若干个变压器并行提供而不是由单台变压器提供。因此，如果涉及大型电动机的起动，使用该系统可能会降低电动机起动设备的成本。对于变压器低压侧有照明和动力综合负载的供电系统而言，该系统也是最令人满意的辐射系统。



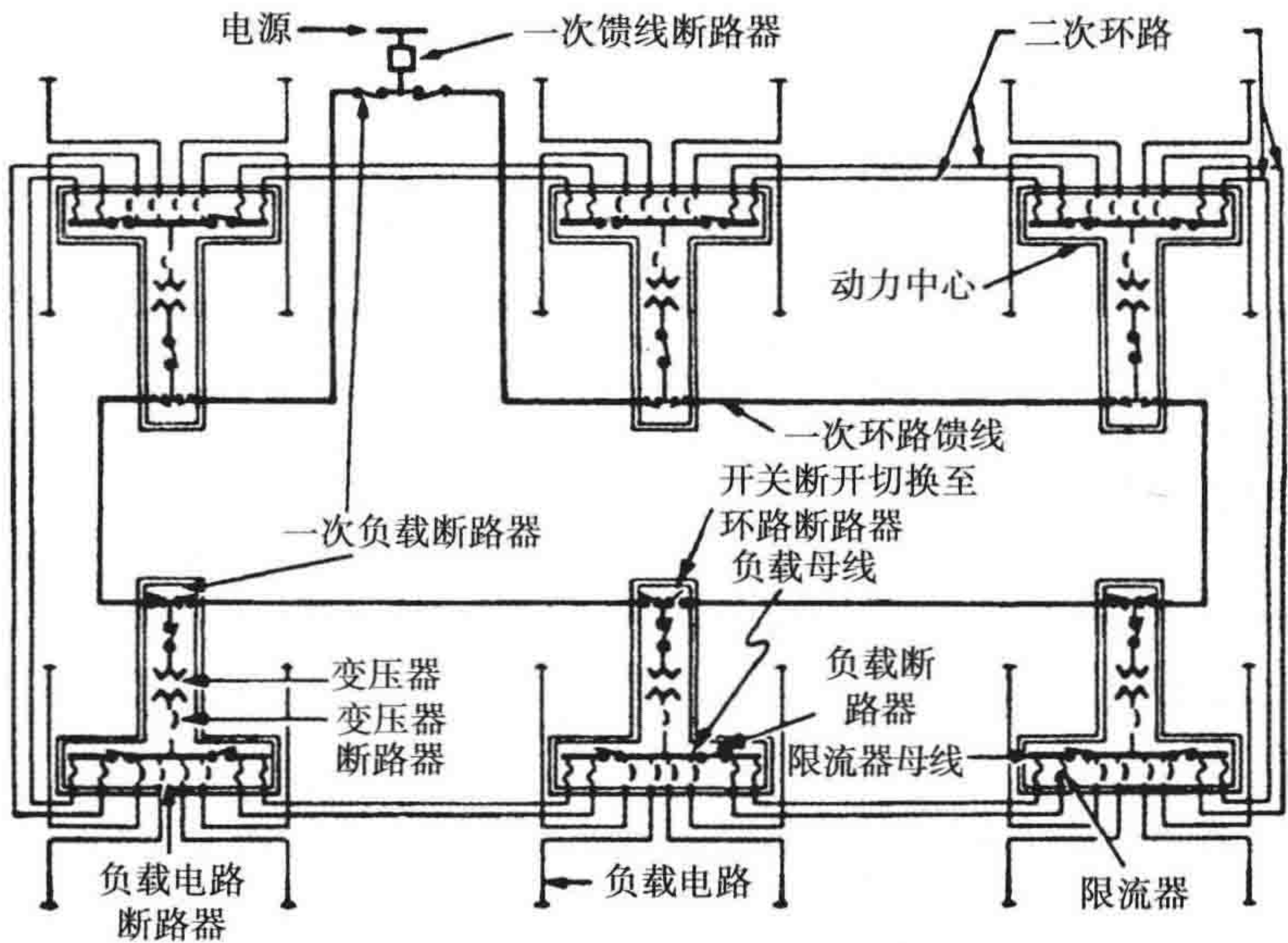


图 20-11 二次侧网络辐射系统 (Westinghouse 产品)

**一次侧选择辐射系统** 该类系统 (如图 20-12 所示) 在每个负载区域内至少使用两条馈线。它的设计功能是：当一条馈线退出运行时，另一条馈线有足够的容量给全部负载供电。虽然可以使用三条或三条以上的一次馈线，但通常只使用两条馈线。正常运行时，一条馈线连接一半的变压器。当一条馈线发生故障时，建筑内只有一半负载会断电。而前面所讨论的系统，如果馈线出现故障，将会导致所有负载断电。从馈线或变压器故障后恢复供电的角度来看，这个系统没有二次侧网络辐射系统恢复效果好，但该系统比一次侧环网辐射系统稍好。在某些情况下，特别是有中等或轻负载密度的大型建筑中，通过使用两条独立的一次侧环网辐射系统，可以保证使用较低的成本提供相同的服务质量。在这种情况下，每个单环网都会连接一半的变压器。

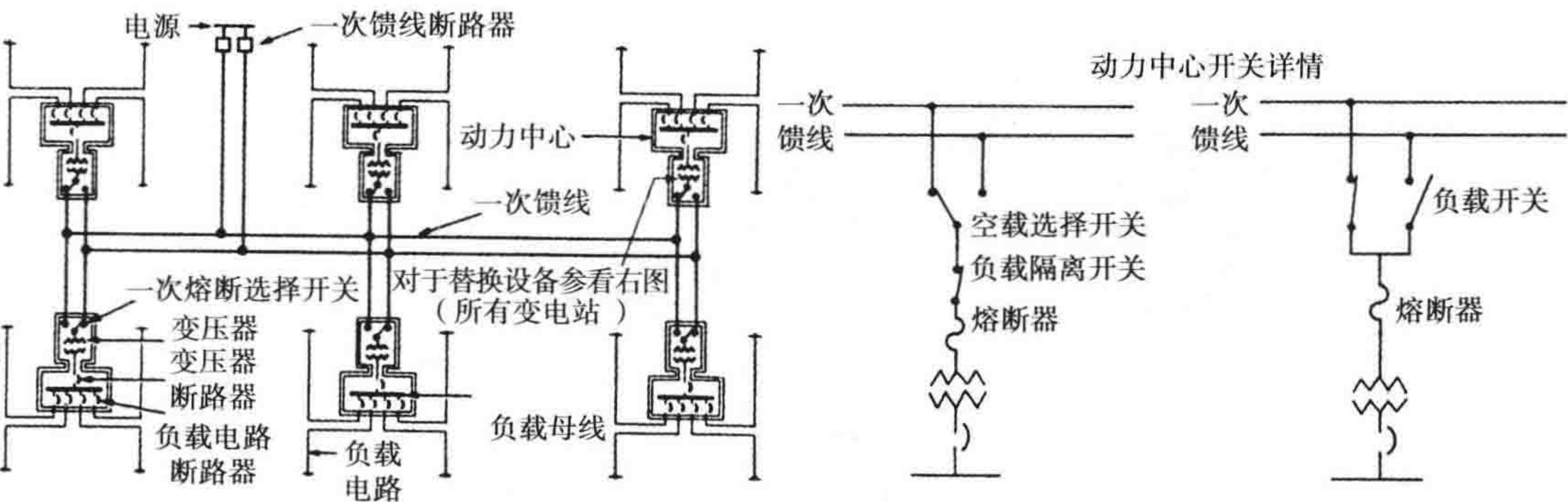


图 20-12 一次侧选择辐射系统 (Westinghouse 产品)

**二次侧选择辐射系统** 该系统与一次侧选择辐射系统遵从相同的备用原则，即从电源点引出备用馈线。然而，在此系统中，备用馈线将从变压器的二次侧而不是一次侧引出，连接到每个负载母线上。这样的安排可以在一次馈线或变压器发生故障时，快速恢复所有负载的供电，就像在二次侧网络辐射系统中一样。

二次侧选择辐射系统的常见形式如图 20-13 所示。建筑物内每个负载区域中的负载都通过两条一次馈线和两台变压器来供电。



现在每一个负载中心都有一个母线联络断路器将配电变压器的二次侧或负载母线连接起来。一次馈线故障将导致建筑物内的一半负载断电。

变压器故障会导致与其相连的一次馈线断路器跳闸，导致建筑物内一半的负载断电。断电的负载可以通过如下操作恢复供电：断开一次馈线的隔离开关和故障变压器二次侧的断路器，闭合相关的母线联络断路器，然后重新闭合一次馈线断路器。通过以上操作可以恢复供电。上述手动切换过程可以将系统恢复到正常运行状态。此时，除了故障变压器断电以外，其原来的负载转由相邻的变压器来供电。

从电压波动的角度来看，当一个负载如一个大电动机接入系统时，这个系统不如二次侧网络辐射系统好。该系统相比于二次侧网络辐射系统的优点是，当一次馈线或变压器发生故障时，该区域只有一半的负载停电，而不是全部负载都停电。两个系统都能在一次馈线或变压器发生故障时快速恢复所有负载的供电。

**改进的二次侧选择辐射系统** 改进的二次侧选择辐射系统往往比前述形式更经济（见图 20-14）。该系统在每个负载中心只有一台变压器。两条相邻的负载母线通过二次电缆或母线联络，在一次馈线或变压器发生故障时，所有负载由另一条母线来供电。

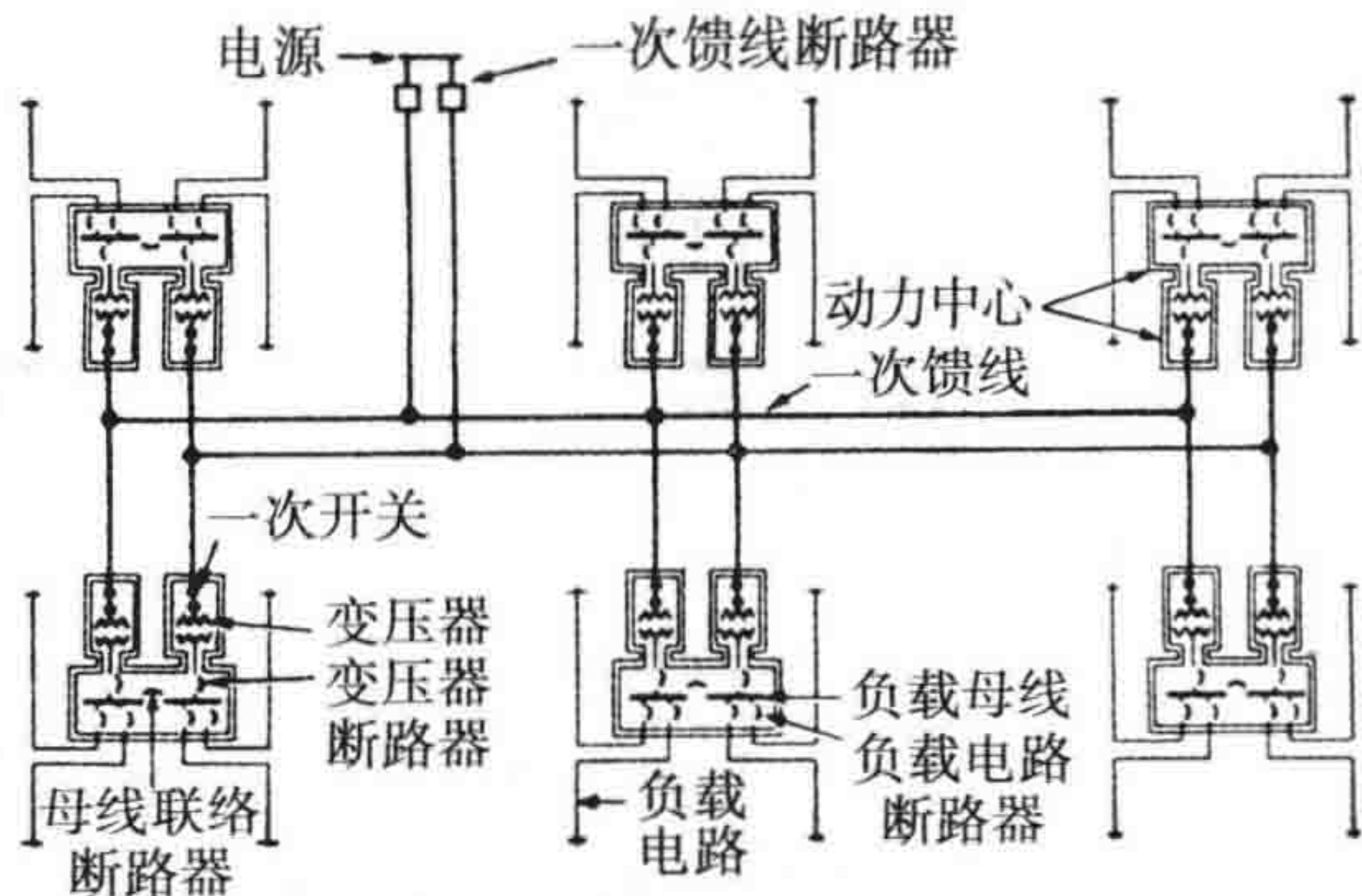


图 20-13 二次侧选择辐射系统 (Westinghouse 产品)

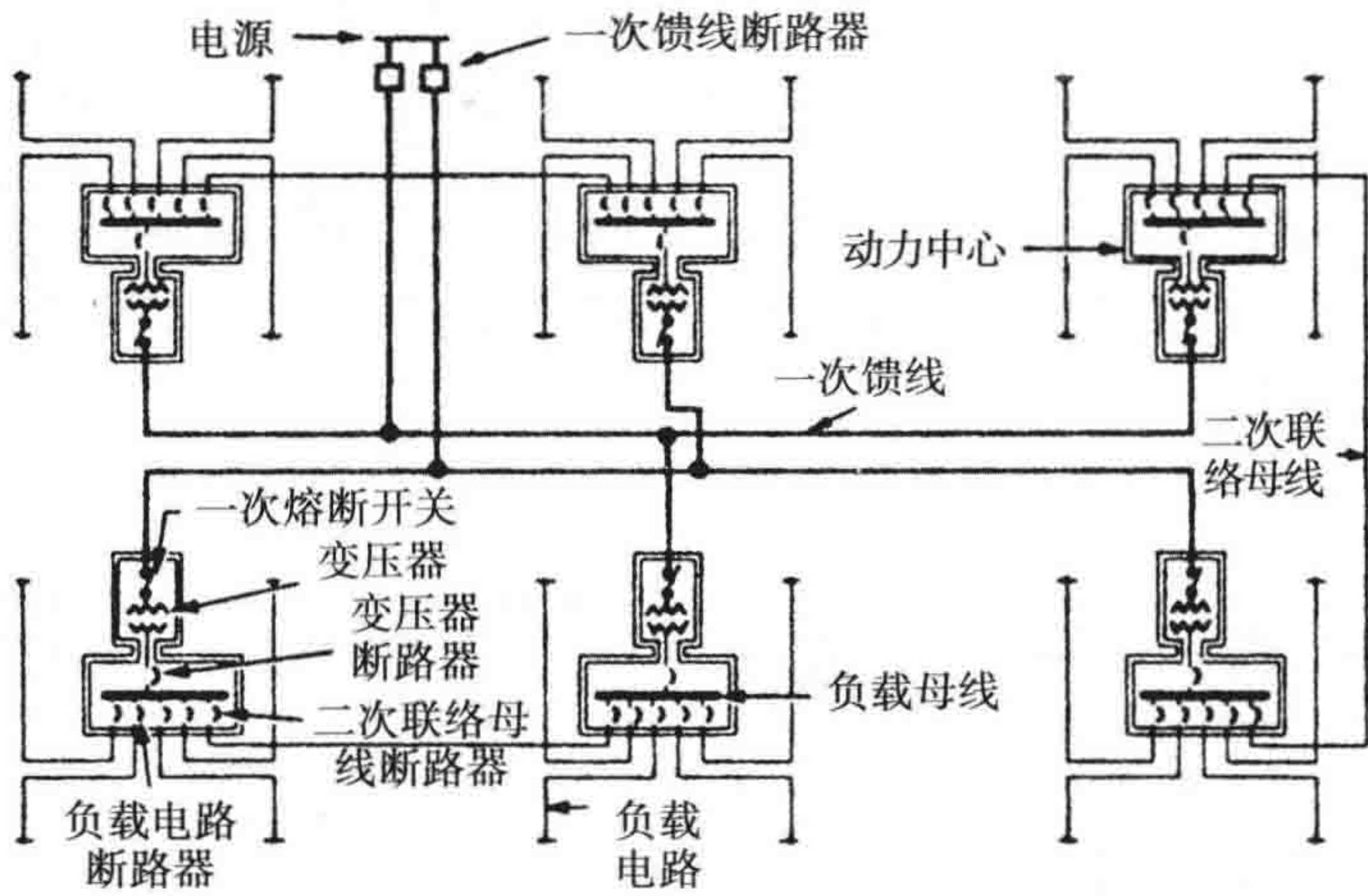


图 20-14 改进的二次侧选择辐射系统 (Westinghouse 产品)

每一条联络线路通过一个二次联络断路器连接到两侧负载母线上。每一个二次联络断路器都是互锁的，因此，除非两台变压器断路器中的一个断开，联络断路器才能闭合。

二次侧选择辐射系统中的单变压器变电站形式，如果不考虑所使用变压器的数量和容量大小，基本上起到了这一系统通常所应有的作用。

**简单网络系统** 交流二次侧网络系统在城市高负载密度地区已经应用了很多年。通过对这类系统的改进，能够使其适用于建筑物内部的供电（见图 20-15）。

二次侧网络系统最广为人知的优势是其供电连续性。系统中任何地方出现的任何单一故障最多仅影响系统负载中的一小部分。大多数故障将自动清除，无须中断任何负载的供电。它的另一个突出的优点是，网络系统可以用最低的成本和对其他负载最小的干扰，灵活地满



足不断变化和不断增长的负载需求。除了灵活性和可靠性之外，二次侧网络系统还提供了非常均衡的电压偏差，其较高的效率也大大降低了损耗的成本。

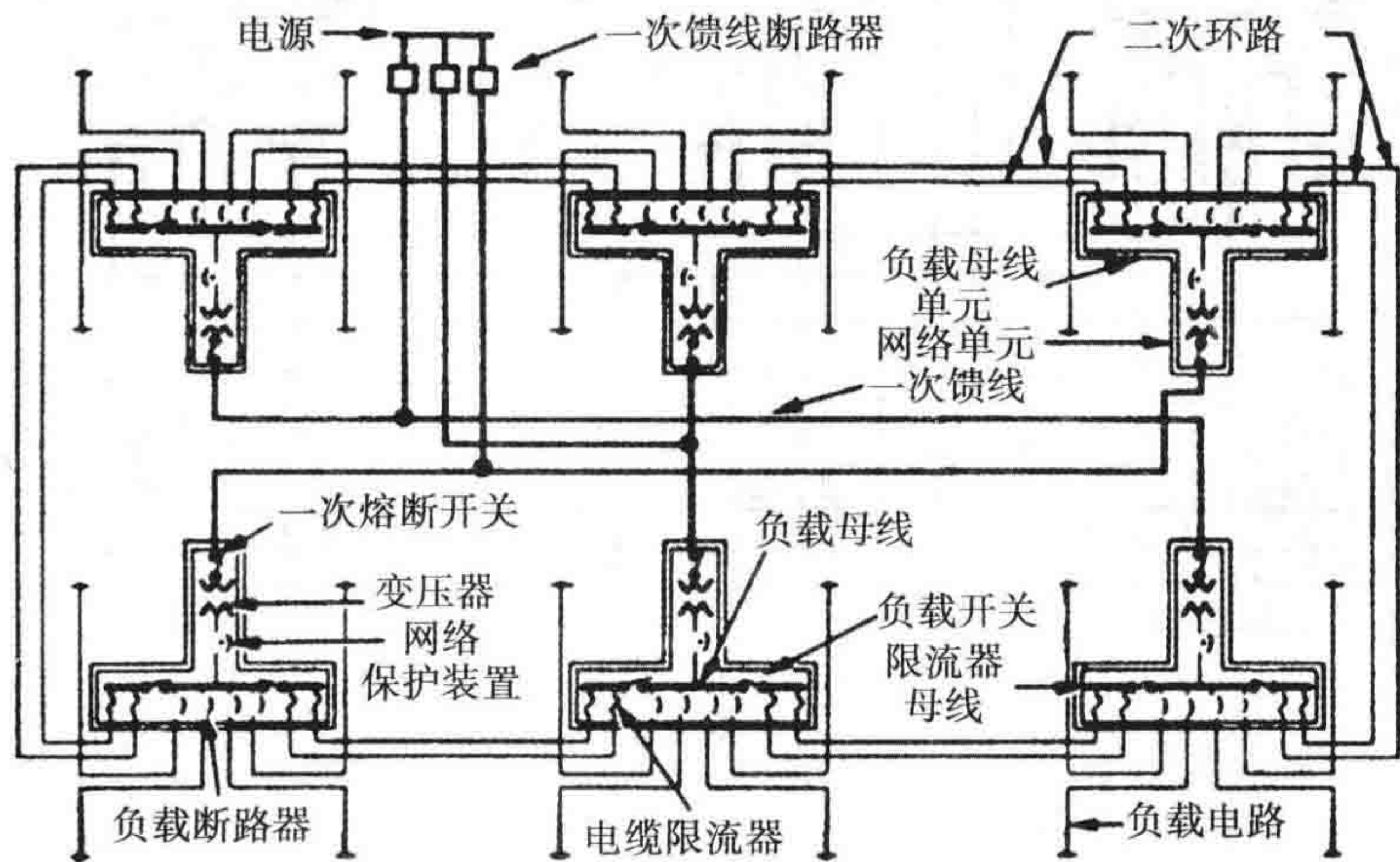


图 20-15 简单网络系统 (Westinghouse 产品)

二次环路的主要作用是，当正常供电的一次馈线断电时，为任意负载母线提供替代的供电路径。当变压器或馈线发生故障时，该系统可以保证不中断供电。二次环路也不需要任何负载节点的负载容量与相应的变压器容量相互匹配。负载可以从位于网络变压器之间的环路两侧的负载母线处获得电源，并且负载线路可以直接从最近的负载母线获得电源。与简单辐射系统相比，该系统允许以最短路径铺设辐射式线路，极大地节约二次侧电缆和导管系统。网络系统的电压偏差较小，允许照明和动力引自同一负载母线。与简单辐射系统相比，更大型的电动机可以直接起动。这通常会大大简化电动机的控制，并允许使用具有较廉价控制的大型低压电动机。

为了在所有故障情况及限定条件下都有令人满意的选择性，二次环路的电缆每相应使用最少两根相同的单芯电缆。当一次馈线或变压器发生故障时，通过自动跳开一次馈线断路器和其他与故障线路相关的网络保护装置将故障隔离。这一操作不中断任何负载的供电。在进行必要的维修后，闭合馈线断路器使系统恢复到正常工作状态，与故障馈线相关的所有网络保护装置将自动闭合。

简单点网络系统类似于二次侧选择辐射系统，在每个负载区域内都通过两根或更多根一次馈线和两台或更多台变压器供电。然而，在此系统中变压器通过网络保护装置连接到一条负载母线上，如图 20-16 所示。

对于有些建筑物，很多负载集中在某些很小的区域内，而这些集中负载之间的距离较远，同时这些集中负载点之间又只有很少的负载，此时，应用简单点网络系统比其他形式都要经济。它们常用于高层办公建筑中。这些系统的主要缺点是：对于逐渐增长和转移的负载，它们不像其他形式的网络系统那样灵活。当供电连续性是首要考虑因素时，而灵活性是次要考虑因素时，往往使用简单点网络系统，而且其花费也少于使用二次环路系统。当需要三根或更多根一次馈线时，简单点网络系统是最经济的。这是因为通过三台或者更多台变压器给每一个负载母线供电，极大地减少了备用电缆和所需变压器容量。

**一次侧选择网络** 这是最普遍适用的方式，也是工业二次侧网络系统中广泛应用的形式。一次侧选择网络系统中每台变压器都配有一个一次选择开关（见图 20-17 和图 20-18）。



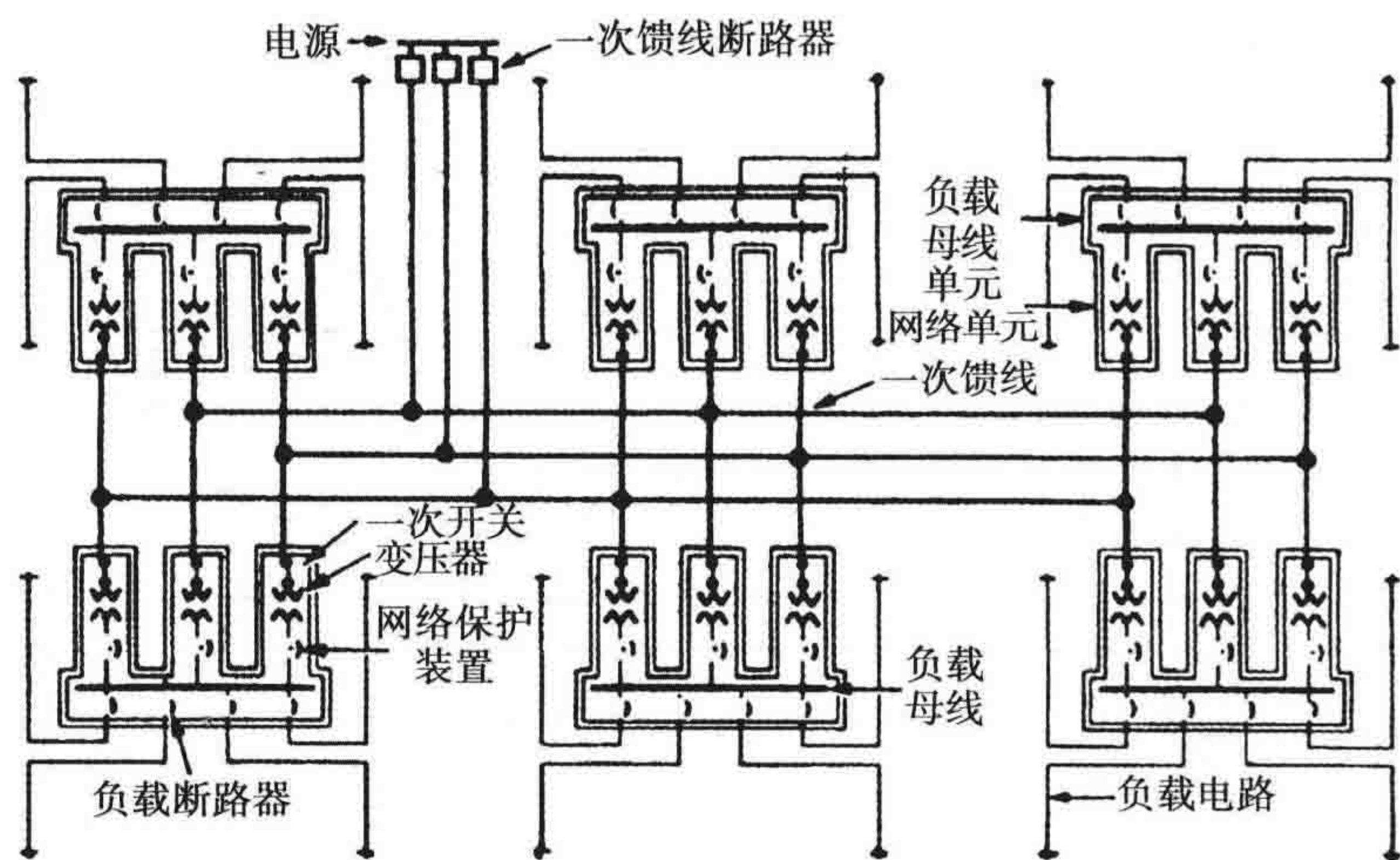


图 20-16 简单点网络系统 (Westinghouse 产品)

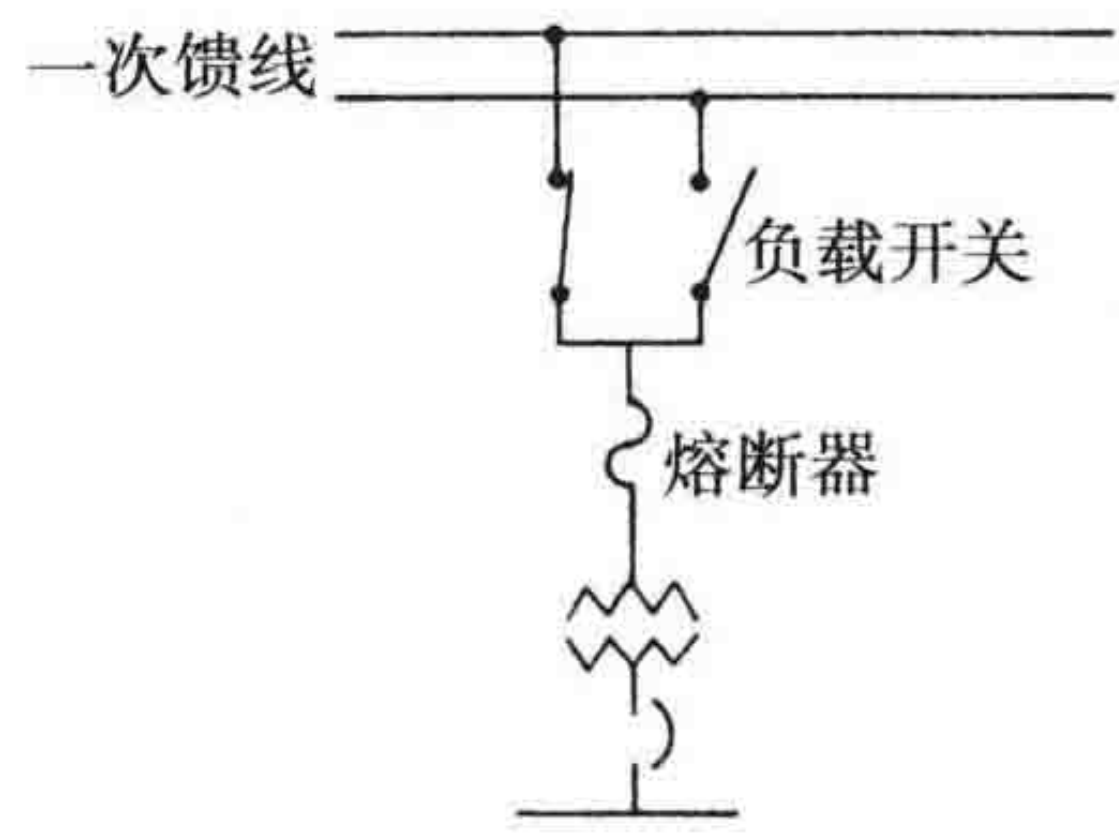
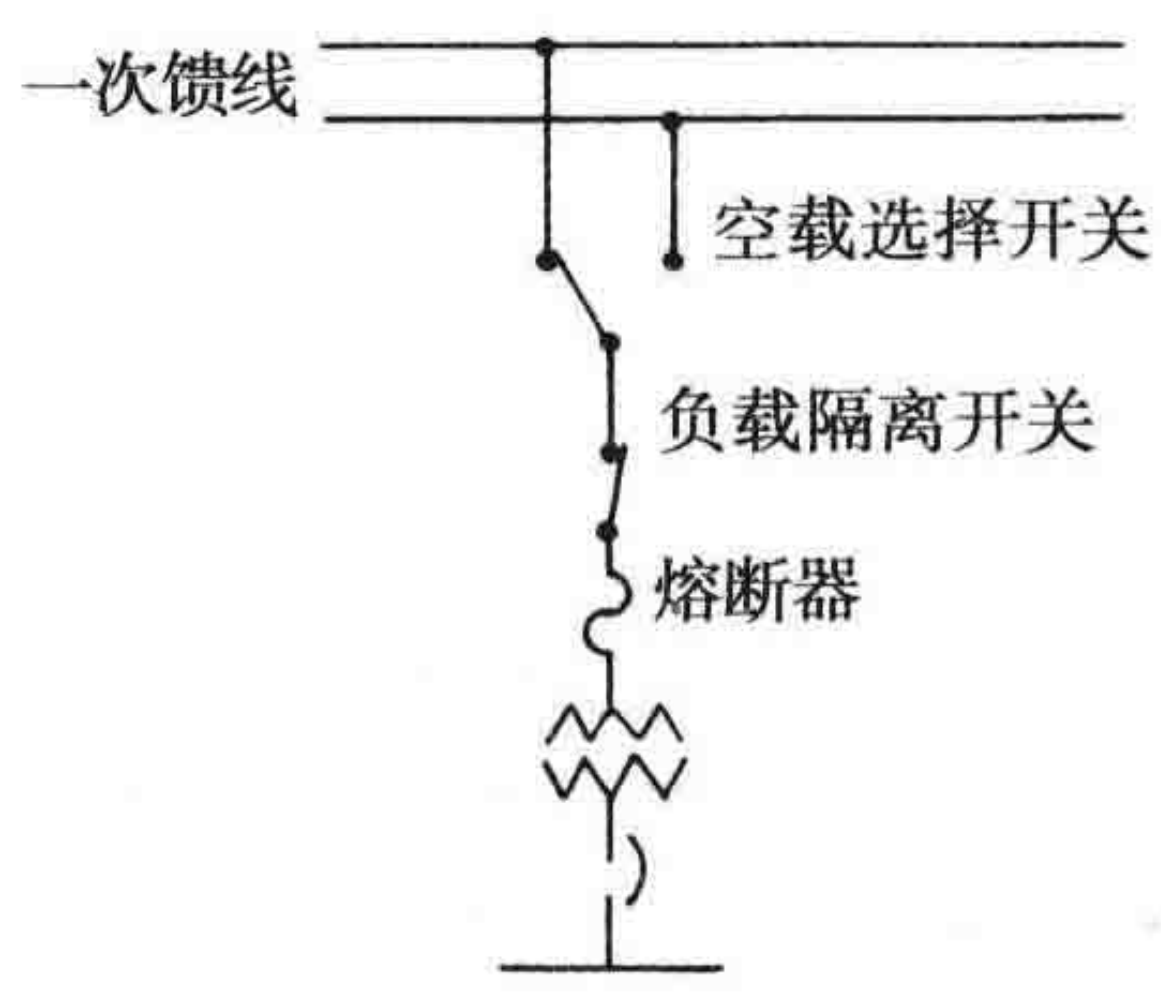


图20-17 空载选择开关的位置 (Westinghouse 产品) 图 20-18 负载开关的位置 (Westinghouse 产品)

两根一次馈线分别连接到一台变压器上，如图 20-19 所示。当一栋建筑物需要两根一次馈线供电时，每一根馈线的容量都必须能够供电给整个建筑物中的所有负载。每台变压器都通过网络保护装置连接到一条负载母线上。为负载供电的辐射式线路通过线路断路器或熔断器与负载母线相连。一个二次环路，如同二次侧网络辐射系统和简单网络系统，将每个负载与两个相邻的负载母线相连。通常网络中一半的变压器分别连接到每根一次馈线上。

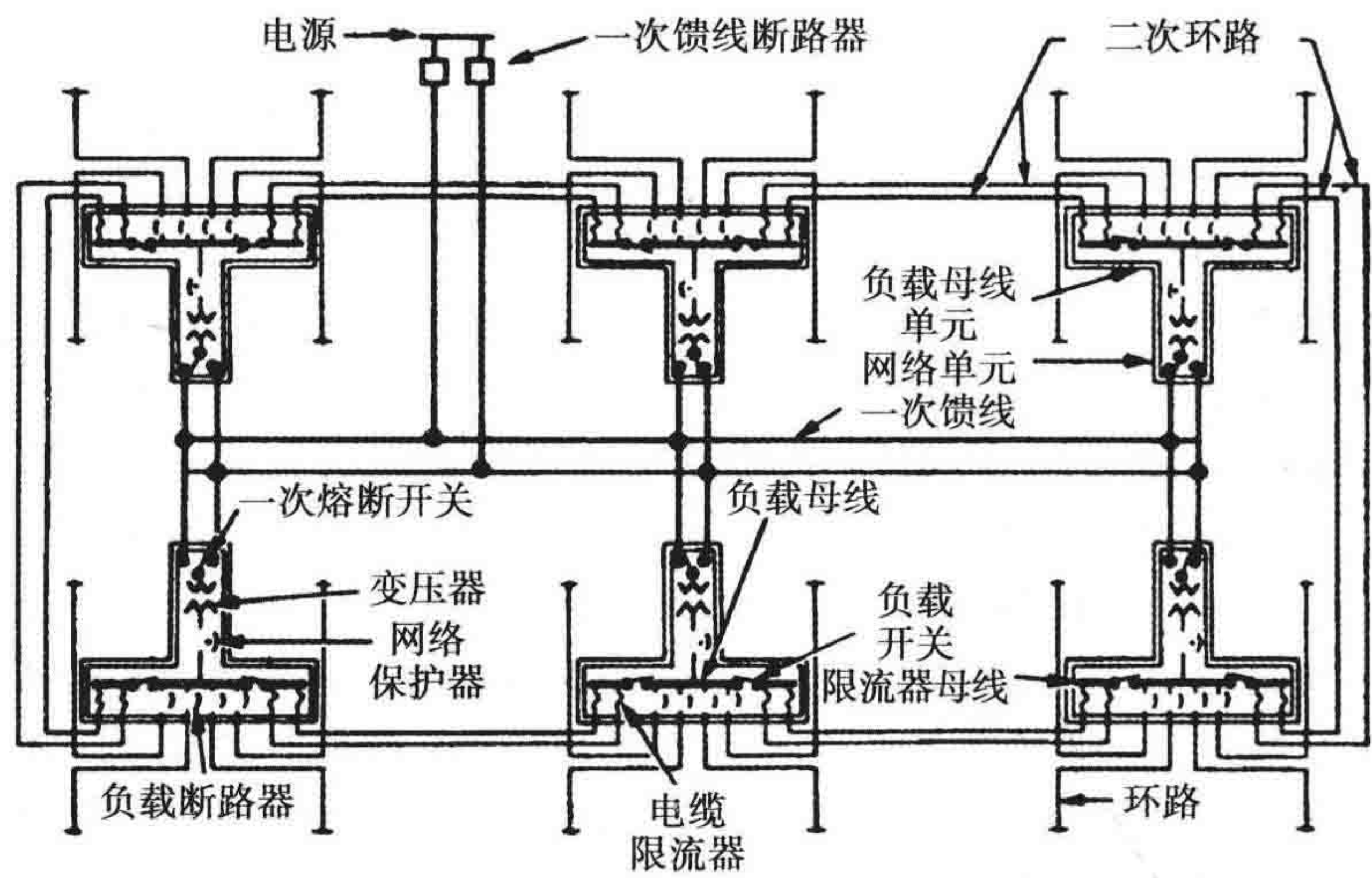


图 20-19 一次侧选择网络系统 (Westinghouse 产品)



一次馈线发生故障时，相关的保护装置动作，一次馈线断路器断开，变压器和发生故障的馈线从系统断开。整个建筑物内的负载转接到剩余的一次馈线以及网络中另一半变压器上。与故障馈线相连的变压器可以通过手动操作选择开关将其连接到完好的馈线上。这将消除正常运行时与完好馈线相连的变压器的过载。

变压器的故障可以通过操作与其相连的一次馈线断路器和网络保护装置与系统隔离。故障变压器可通过断开选择开关来断开和一次馈线的连接。馈线和正常变压器可以立即投入运行。一次馈线或变压器故障不会造成任何供电中断。

与简单网络系统一样，一次侧选择网络也可以采用点网络系统的形式。一次侧选择网络系统中的每一台变压器都配备一个一次选择开关装置使其可以连接到一根一次馈线上（见图 20-20）。这在很大程度上减小了配置备用变压器的必要性，通常系统也不设计提供这样的容量。

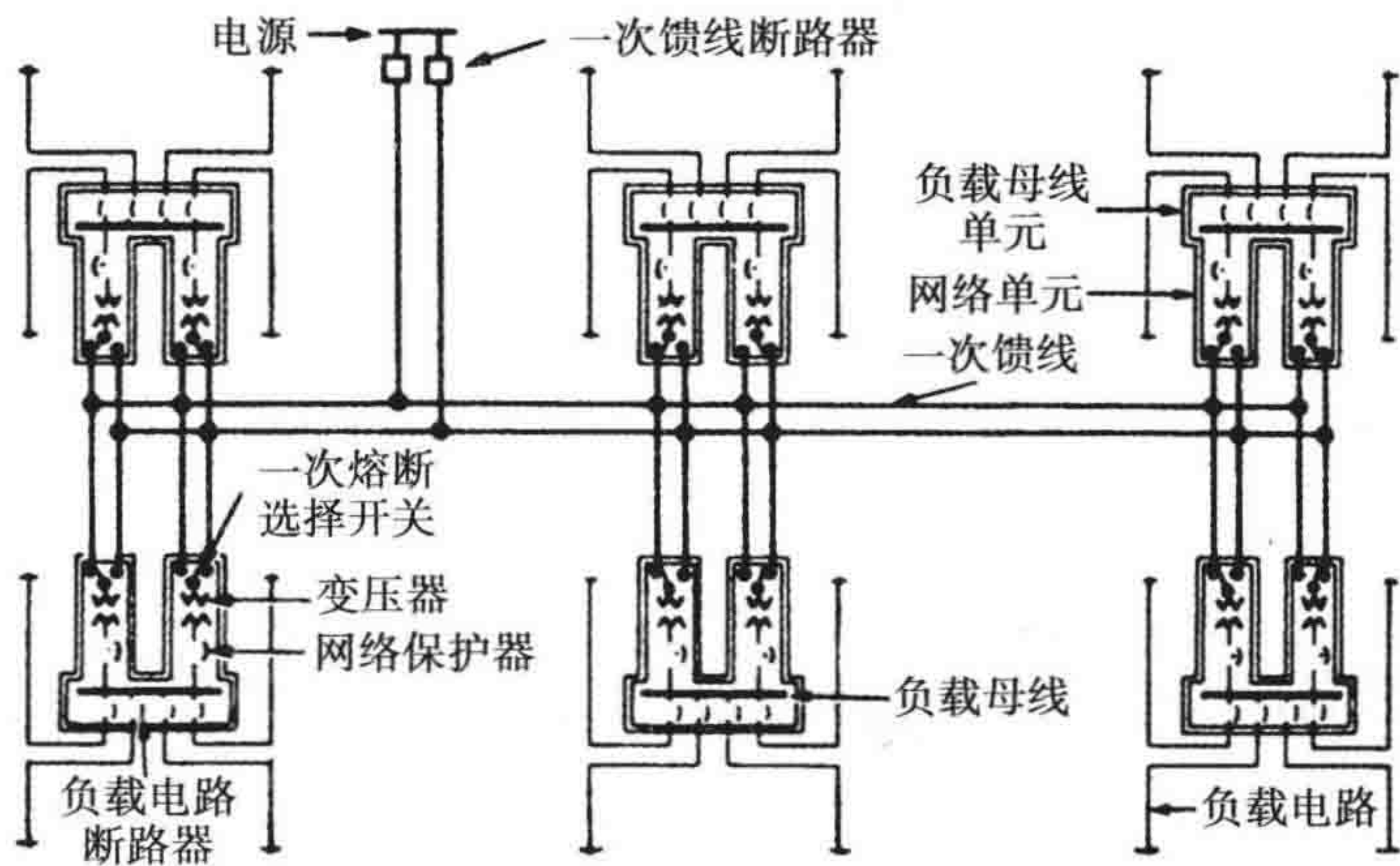


图 20-20 一次侧选择点网络系统 (Westinghouse 产品)

20.4 系统分析

影响配电系统设计的主要因素是要确保它对于不同的负载能够提供所要求的供电服务，包括每个负载在正常和故障情况下都可以对系统设备提供保护，这样供电服务的中断才会最小化，同时具备良好的经济效益和结构设计。短路电流和故障电流在任何系统中都要考虑。

20.4.1 短路电流

在发生短路故障时，短路电流的大小取决于系统电压源的容量和系统阻抗，包括故障本身。电压源的组成包括系统电源（配电网络或本地发电设备）和故障时所有连接到系统中的旋转电动机。故障可能是由电弧放电或短路故障引起的。在所有电弧故障中，电压回路的一部分电压在故障区域被消耗掉，相比于短路情况总的故障电流可能更小，所以短路状态在故障计算中显得更有价值。

基本上，短路电流是由欧姆定律确定的，除了阻抗不是恒定的情况（因为有时系统会加入一些电抗）。在交流系统中由于电抗的影响会使初始短路电流很大，之后逐渐衰减到欧姆定律下的稳态。短路电流由指数下降的直流分量和另一个衰减的交流分量组成。直流和交流分量的衰减率取决于电路中电抗和电阻的比值  $X/R$ 。这个比值越大，短路电流最终达到稳态的时间就越长。

20.4.2 故障电流

因为三相电流中的不对称程度并不一致，所以不对称电流的计算是一个复杂的过程。计算



非对称故障电流常用的方法是：假设直流分量已经衰减到零，计算对称故障电流的有效值，然后使用一个系数获得第一个半波的非对称故障电流的有效值。非对称故障电流称为瞬时电流。

当系统中电动机负载已知时，为了确定电动机对第一个半波故障电流的影响，通常进行以下假设：

- 1. 208Y/120V 系统：
  - a. 假设系统中有 50% 的照明和 50% 的电动机负载。
  - b. 假设电动机反馈影响是变压器满载电流的两倍。
- 2. 240V/480V/600V 三相三线系统：
  - a. 假设系统中有 100% 电动机负载。
  - b. 假设电动机反馈影响是变压器满载电流的 4 倍。
- 3. 在商业建筑的 480Y/277V 系统中：
  - a. 假设有 50% 电动机负载。
  - b. 假设是 100% 的感应电动机。
  - c. 假设电动机反馈影响是变压器满载电流的两倍。
- 4. 对于工厂来说，其假设和三相三线系统一致。

20.4.3 三相电源

三相交流电可以由星形联结的发电机或三角形联结的发电机发出。与 6 根引出线的三相交流发电机不同，它可以从每一相引出一根引出线连接起来形成一个公共端。定子的这种连接称为 Y 形联结，有时 Y 形联结也称为星形联结。公共端可能不会引出发电机，如果被引出了，它就称为中性点（见图 20-21）。如果星形联结的中性点从发电机中引出了，那么就是三相四线系统。

连接三根线中的两根，星形联结可以提供 1.73 倍的相电压。线电流等于任何流过相绕组的电流。星形接法的一个优点是能够产生更高的电压。注意在图 20-21 中，绕组 1 和 2 相互串联。绕组 2 和 3 也是串联的。如果绕组 1 和 3 连接起来，它们也可以串联。因此，无论使用哪一种连接，都由两个串联线圈来产生所需的单相电。然而，提供的电流仍然是在串联电路中的电流。

Y 形联结发电机的有功功率和三角形联结的一样。总的有功功率表达式为

$$P_t = 1.73 E_{line} \times I_{line} \times \cos \theta$$

对于任意两个引出线的连接，三角形联结提供了 1.73 倍的相电流（见图 20-22）。线电压等于任何相绕组中的电压。三角形联结的优点是它能够产生更大的电流。请注意在图 20-22 中，绕组 1 是与绕组 2 和 3 并联的，绕组 2 和 3 是在电路中串联的，这就产生了标记 C 所示的输出。绕组 2 是与绕组 1 和 3 并联的，绕组 1 和 3 是在同一串联电路中的，这种组合方式产生了 A 所示的输出。绕组 3 是与绕组 1 和 2 并联的，绕组 1 和 2 是在同一串联电路中的，这种组合方式产生了 B 所示的输出。在三角形联结方式中，电流是优势。在 Y 形联结中，电压是优势。综上所

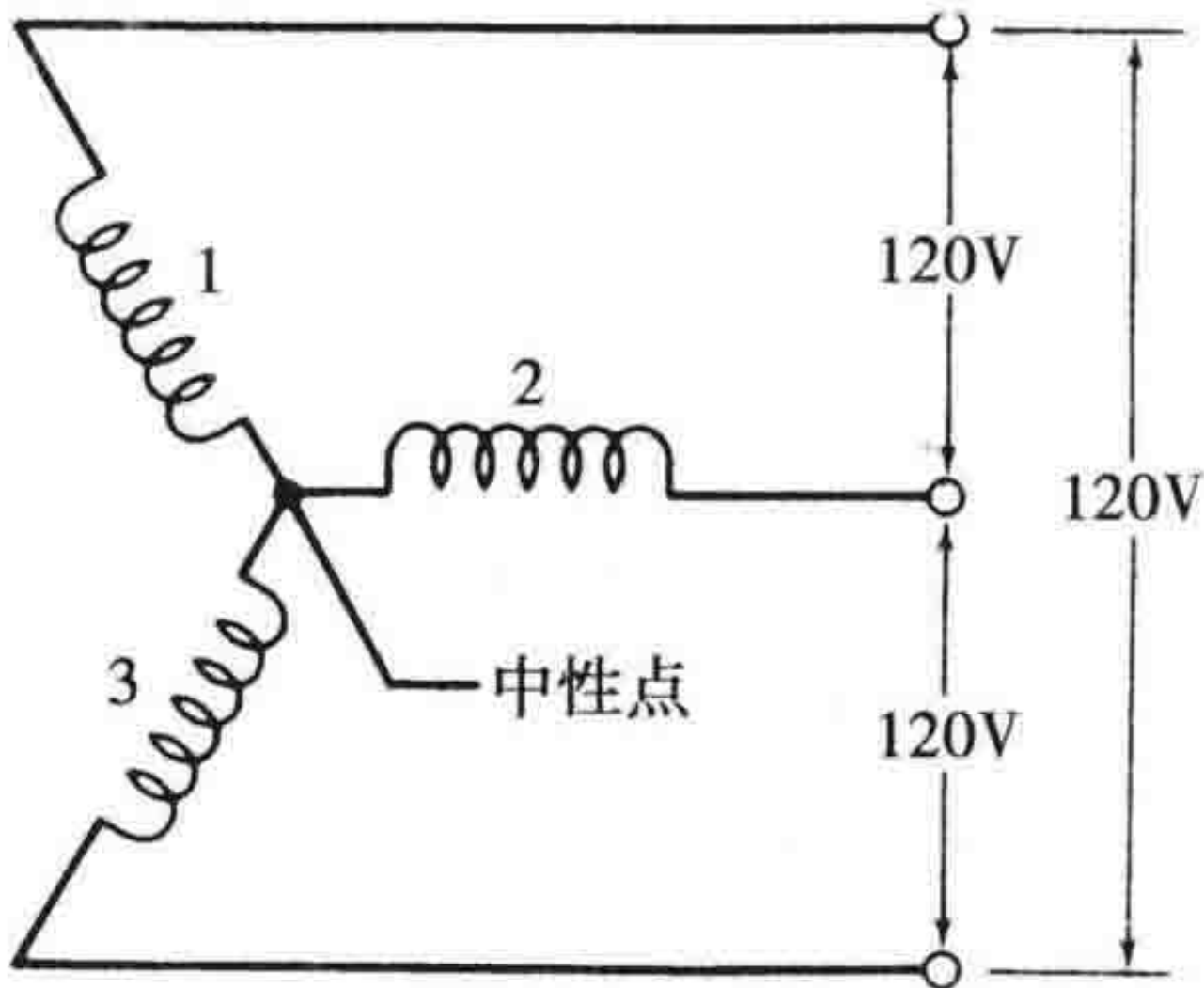


图 20-21 Y 形联结的单相电压

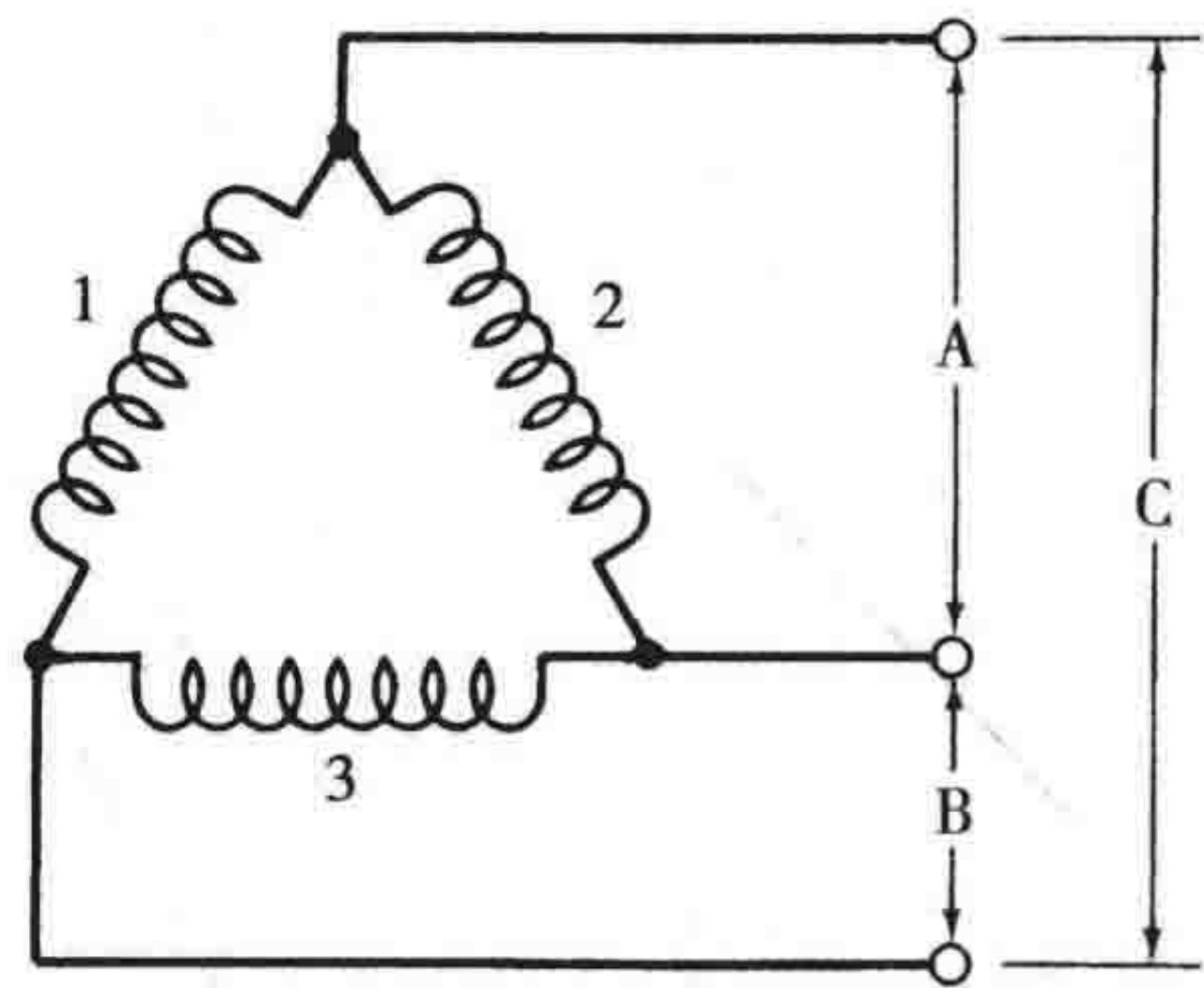


图 20-22 三角形联结的单相电压



述，三角形联结产生的线电压等于相电压，而线电流等于 1.73 倍的相电流。三角形和星形联结的有功功率是一样的。在这两种情况下，它仅仅是将线电流乘以线电压再乘以 1.73 倍因子和角度  $\theta$  的余弦的乘积。

20.5 功率测量

测量三相系统有功功率的功率表连接方式如图 20-23 所示。图 20-23a 使用了 3 块功率表，其电流线圈串联在线路中，而电压线圈则连接在线路和中性线之间。总的有功功率等于 3 块功率表读数的总和。

图 20-23b 使用了两块功率表，两块功率表的电压线圈连接在两相之间，而公共线路或第三条线路不含电流线圈。总的有功功率等于两个功率表读数的代数和。如果有一个指针反向，则表明其电压线圈是反向连接的。注意标注的极性指示以防止连接错误。不正确的连接会使仪表读数过高。总的有功功率就等于两块功率表读数的差值。如果负载功率因数小于 0.5 且负载均衡，则有功功率将等于两块功率表读数之差。如果负载功率因数为 0.5，一块表的读数将为零。如果负载功率因数大于 0.5，则总的有功功率是两功率表读数的总和。

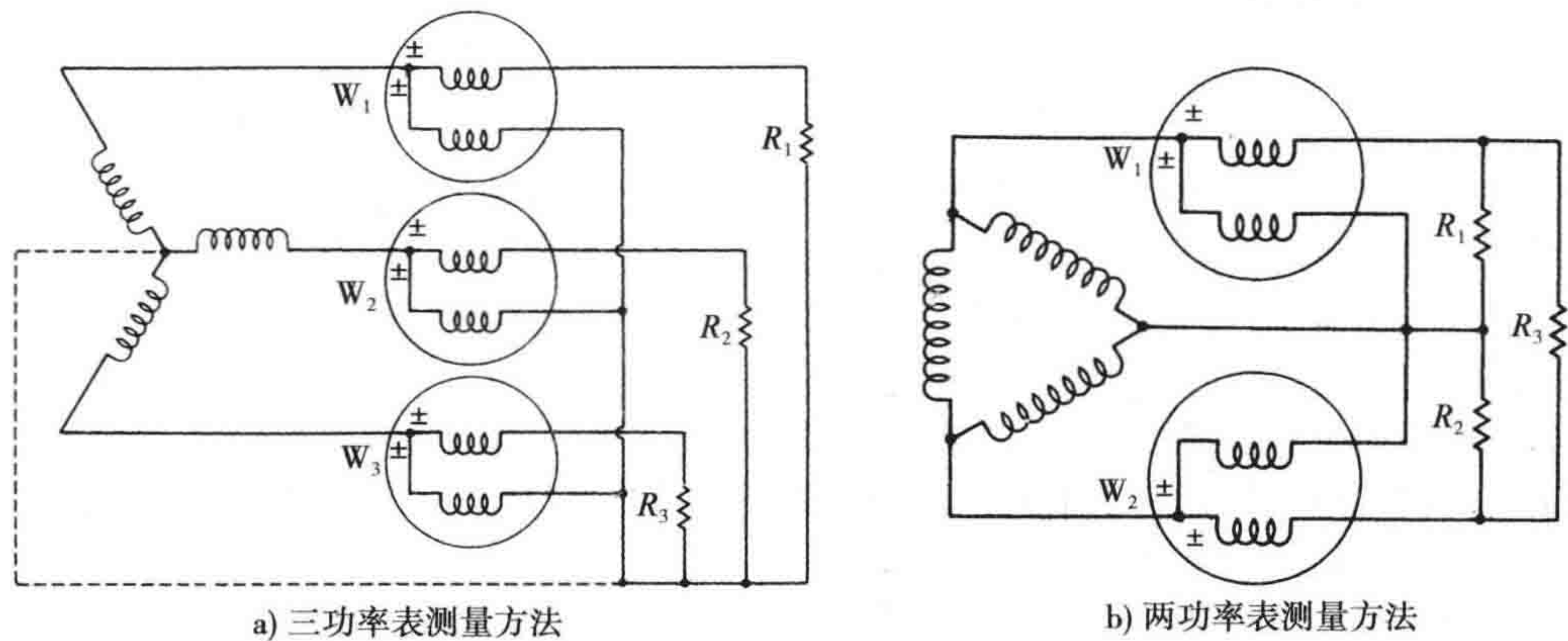


图 20-23 有功功率的测量

20.6 变压器

在任何配电系统中变压器都很重要。快速回顾一下它们的基本原理将有助于我们了解其在配电系统中不同部分的作用。

变压器是一种没有运动部件的装置。它通过电磁感应将能量从一个电路传输到另一个电路。它在不断传输能量的同时频率保持不变。

通常情况下，电压和电流的变化是很明显的。升压变压器以一个电压等级接收电能并把它升到一个更高的电压等级并将电能输送出去。相反，降压变压器以一个电压等级接收电能并把它降到一个较低的电压等级并将电能输送出去。变压器几乎不需要保养和维护，因为它们结构简单，坚固耐用。由于没有运动部件，几乎没有磨损。效率可以超过 99%。

由于交流电使用广泛，所以变压器在生活中较为常见。

20.6.1 变压器结构

最简单的变压器包括两个相互绝缘的绕组。这些绕组缠绕在由钢板叠压而成的公共磁路上。其主要部件如下：



- 1. 铁心：为磁通提供低磁阻的回路。
- 2. 一次绕组：接收来自交流电源的能量。
- 3. 二次绕组：通过电磁感应接收来自一次绕组的能量，并将其传输给负载。
- 4. 外壳：当变压器过载时，防止损坏。

当一台变压器用来降压时，高压绕组是一次绕组。当一台变压器用来升压时，低压绕组是一次绕组。一次绕组总是连接电源，二次总是连接负载。常见的说法是将绕组称为一次绕组或者二次绕组而不是高压绕组或者低压绕组。

根据结构来分，变压器的主要类型有芯式变压器和壳式变压器。图 20-24 显示了这两种类型。铁心是由薄硅钢叠片冲压而成的，交变的磁通穿过铁心会产生涡流。这些电流通过薄硅钢片与绝缘漆而减小。

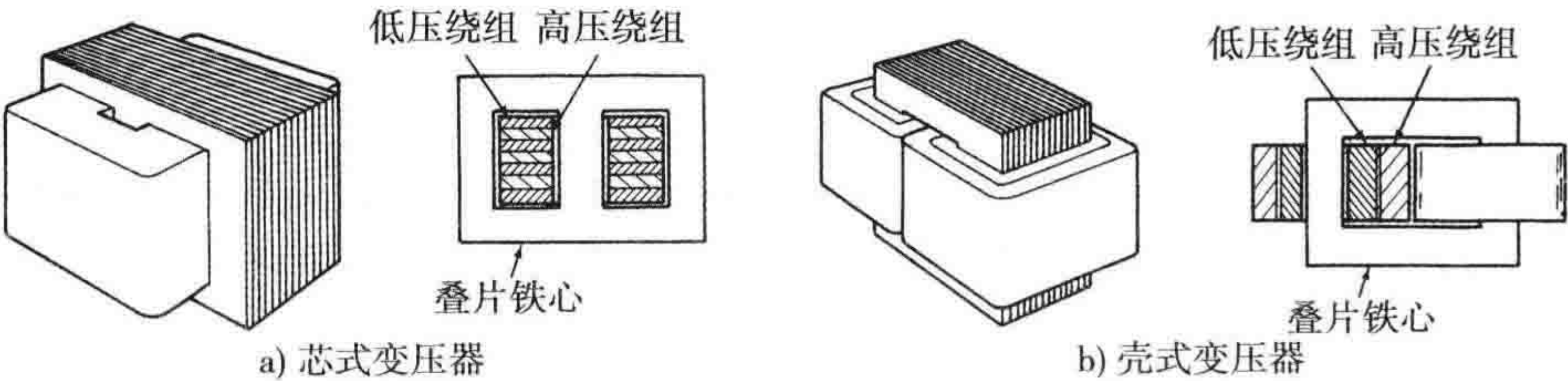


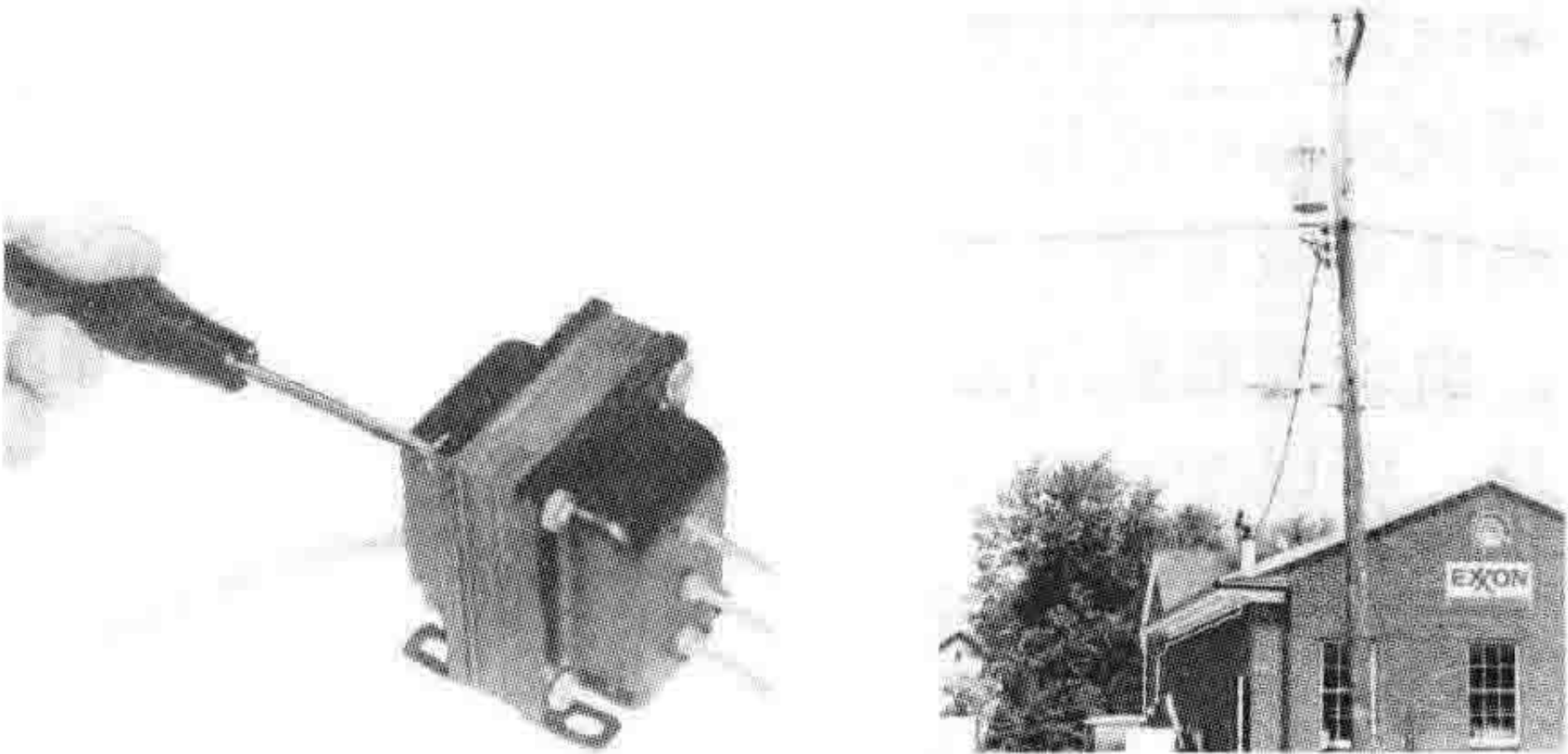
图 20-24 变压器类型

磁滞损耗是由磁性颗粒之间的摩擦产生的，因为它们在每一个磁化循环中都会反转。这些磁滞损耗可以通过使用一种特殊热处理的硅钢叠片来最小化。

在芯式变压器中，铜绕组缠绕铁心。壳式变压器中，铁心环绕铜绕组。配电变压器一般都是芯式的，一些大型的电力变压器是壳式的。

如果芯式变压器的绕组被缠绕在不同的铁心柱上，那么由一次绕组产生的大量磁通将无法链接到二次绕组。这将产生很大一部分漏磁通。漏磁通将会增加两个绕组中的漏抗压降。为了减少漏磁通和漏抗压降，绕组需被细分。每个绕组中分别有一半的绕组放置在每一个铁心柱上。绕组可以是圆柱形的，并且一个绕组在另一个绕组里边，绕组之间应有必要的绝缘。低压绕组将会有很大一部分表面紧邻铁心。高压绕组放置在低压绕组外围以减少两个绕组间的绝缘要求。如果将高压绕组放在内部紧邻铁心，则需要两层高压绝缘。一层绝缘紧邻铁心，另一层在两个绕组之间。在另一种方法中，绕组被绕制为薄的扁平结构，称为扁平线圈。一二次扁平线圈夹在一起，在它们之间应有所需的绝缘。

完整的铁心和线圈组件放置在一个钢箱中（见图 20-25b）。在商用变压器中，完整组件通常浸在特殊的矿物油中，这种油提供了绝缘和冷却的功能。如图 20-25a 所示变压器外壳不需要这种油，这类变压器需要空气流通来保持冷却。



a) 120 V/12 V，容量为75 VA的变压器 b) 安装于杆塔上的单相变压器

图 20-25 变压器的外形



变压器可以分单相和三相。三相变压器由独立绝缘的 3 个绕组组成对应的相。绕组是缠绕在一个有 3 个柱的铁心上，并产生在时间相位上相差  $120^\circ$  的 3 个磁通。三相变压器不能在一个绕组可能对其他绕组产生影响的情况下使用。

20.6.2 三相变压器的连接

电能可以通过含有变压器的三相电路传输，其中变压器的一次绕组和二次绕组可能是各种星形和三角形联结的组合。例如，3 台单相变压器可以通过一次绕组和二次绕组的四种可能的组合提供三相电源。可能的组合分别是：

- 1. 一次侧三角形二次侧三角形 (D/D)。
- 2. 一次侧星形二次侧星形 (Y/Y)。
- 3. 一次侧星形二次侧三角形 (Y/D)。
- 4. 一次侧三角形二次侧星形 (D/Y)。

如果 3 个单相变压器的一次侧通过恰当联结（无论是星形还是三角形）变成三相电源，那么二次侧的连接方式可以是三角形（见图 20-26）。三相电压相量图如图 20-26a 所示。这 3 个电压的相量和为零。这可以从任何两个相量相加来看。例如，检查  $\dot{E}_A$  和  $\dot{E}_B$ 。注意，它们的总和应与第三个相量  $\dot{E}_C$  大小相等方向相反。电压表串联在三角形上显示电压为零（见图 20-26b）。

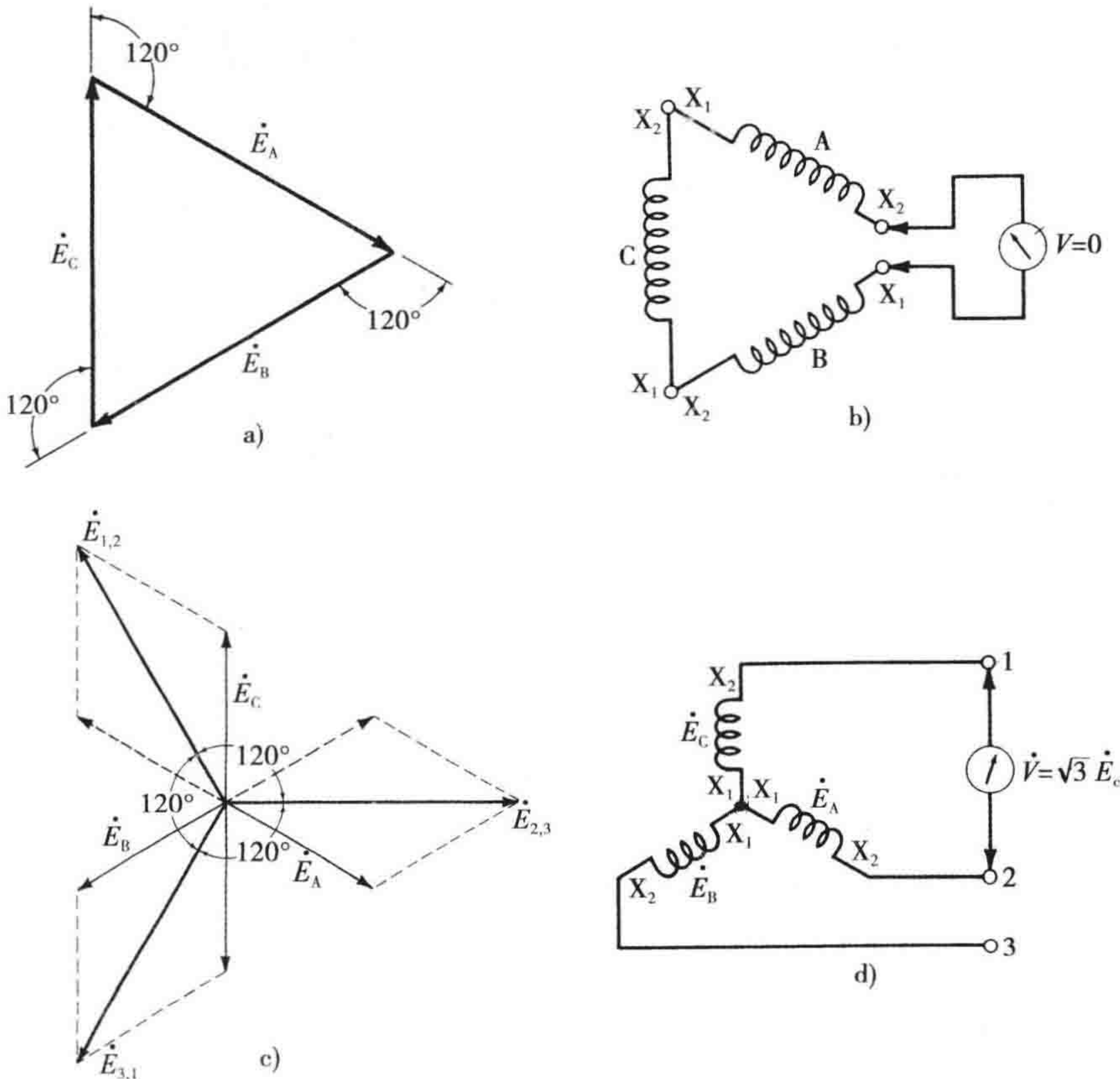


图 20-26 三角形与星形联结的电压相量图和电压测量

假设 3 个变压器具有相同的极性，三角形联结由 A 绕组的引出线  $X_2$  连接到 B 绕组的引出线  $X_1$ ，B 绕组的  $X_2$  连接到 C 绕组的  $X_1$  以及 C 绕组的  $X_2$  连接到 A 绕组的  $X_1$ 。如果 3 个



绕组中的一个和其他两个的极性相反，三角形内的总电压将等于单相电压值的两倍。如果该三角形本身是闭合的，产生的电流和短路电流大小一致。变压器绕组和铁心将会因此而损坏。除非进行测试以确定该三角形内的电压为零或几乎为零，否则该三角形永远不应该闭合。这种测试可以用电压表、熔丝或测试灯来完成。图 20-26b 中，当电压表接入到 A 绕组的  $X_2$  和 B 绕组的  $X_1$  之间时，三角形电路通过电压表完成连接。电压表指示应接近零。然后，连接 A 绕组的引线  $X_2$  和 B 绕组的引线  $X_1$ ，完成三角形联结。

如果一个通电变压器组的 3 个二次侧绕组正确地连接为三角形，并且供应均衡的三相负载，其线电流应等于相电流的 1.73 倍。如果相（绕组）额定电流为 100A，那么额定线电流将会是 173A。如果额定相电压为 120V，那么任何两引出线路之间的电压也为 120 V。

变压器的 3 个二次侧绕组可能会重新连接为星形以提高输出电压。电压相量图如图 20-26c 所示。如果相电压为 120 V，线电压将为 1.73 乘以 120 V 即 208 V。线电压由相量  $\dot{E}_{1,2}$ 、 $\dot{E}_{2,3}$ 、 $\dot{E}_{3,1}$  表示。电压表测量线电压如图 20-26d 所示。如果 3 台变压器的极性相同，二次侧的星形联结正确连接方式如图所示。 $X_1$  引线连接形成一个公共点或称为中性点。3 个二次侧绕组  $X_2$  的引线被引出。如果该连接中任意一个绕组接反，那么线电压将会不对称，负载将承受错误的负载电流。此外，线电流之间的相位角也会改变，它们将不再互相差  $120^\circ$ 。

因此，正确连接变压器二次侧以保证线电压和电流的对称是很重要的。

变压器的一次绕组和二次绕组都连接为三角形联结如图 20-27 所示。一相的  $H_1$  引线总是连接到一个相邻相的  $H_2$  引线上， $X_1$  引出线连接到相邻相的  $X_2$  端，等等，接线在这些连接点上完成。这种方案假定 3 个变压器具有相同的极性。

当 3 台变压器中的任何一台从三角形联结中被移除，且另外两台变压器的三相三线连接方式不变时，一个开口三角形联结就形成了。这些变压器将在二次侧保持正确的电压和相位关系，以供电给平衡的三相负载。一个开口三角形联结如图 20-28 所示。三相电源供电给两台变压器的一次侧，二次侧给负载提供三相电压。开口三角形联结中，线电流等于变压器的相电流。在闭合三角形联结中，变压器的相电流与线电流的关系：

$$I_{\text{phase}} = I_{\text{line}} / \sqrt{3}$$

因此当一台变压器从 3 台三角形联结的变压器中被移除时，剩下两台变压器的电流为相电流的  $\sqrt{3}$  倍。该值等于额定电流的 1.73 倍，或者说每台变压器过载 73.2%。

因此，为了防止在开口三角形联结中变压器的过载，必须减少线路电流以使每台变压器中的电流都不超过额定值。开口三角形联结会导致系统容量降低。三角形联结的满载容量在功率因数为 1 时是：

$$P_D = 3E_{\text{phase}}, I_{\text{phase}} = \sqrt{3} E_{\text{line}} I_{\text{line}}$$

在开口三角形联结中，线电流被限制为相电流，其大小为  $I_{\text{line}} / \sqrt{3}$ ，开口三角形联结或者称为 V 形联结的满载容量是：

$$P_V = \sqrt{3} E_{\text{line}} \frac{I_{\text{line}}}{\sqrt{3}} = E_{\text{line}} I_{\text{line}}$$

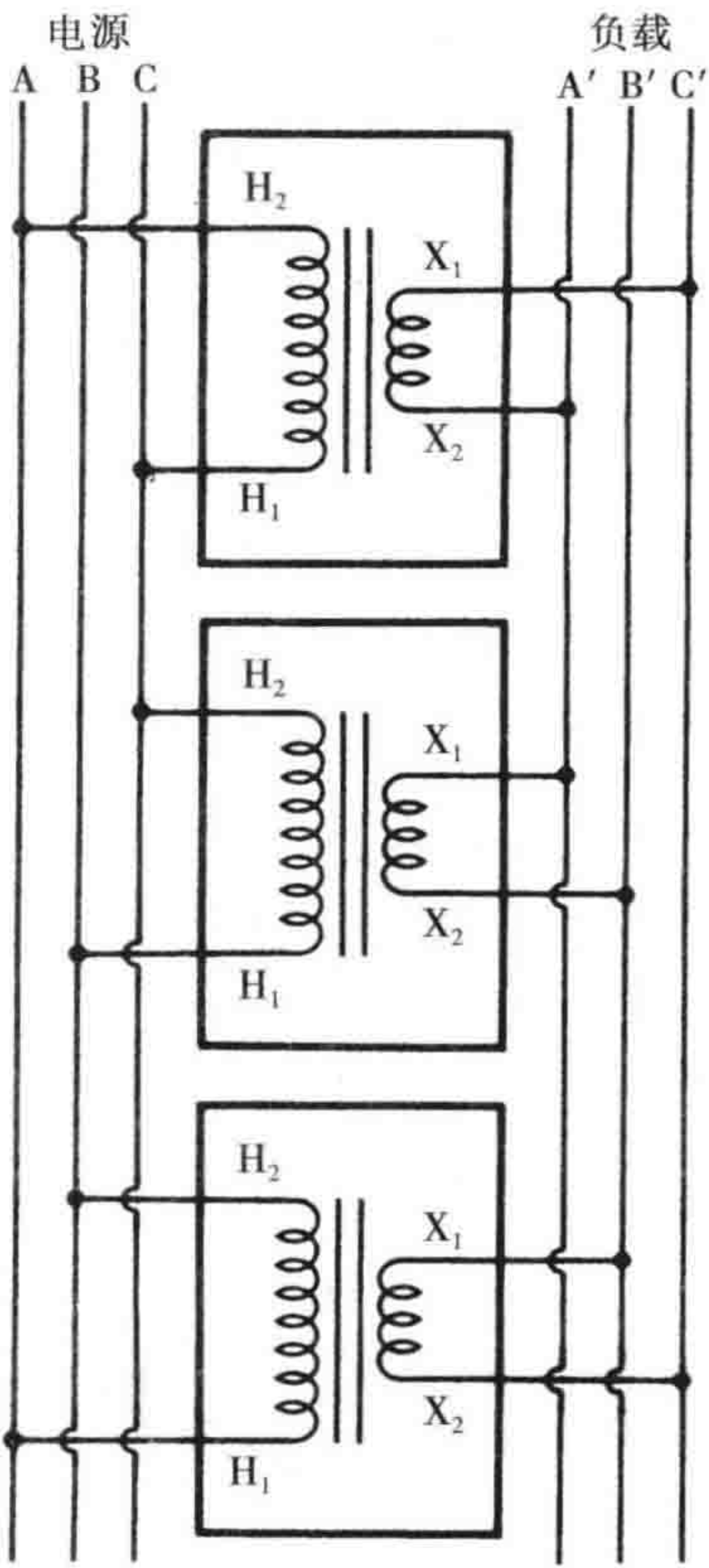


图 20-27 三台变压器组的连接



开口三角形联结的运行负载和普通三角形联结的运行负载的功率比值为：

$$\frac{P_V}{P_D} = \frac{E_{line} I_{line}}{\Delta \sqrt{3} E_{line} I_{line}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577$$

或者说在开口三角形联结下运行效率是三角形联结运行功率的 57.7%。

例如，一个功率为 150kW 的三相平衡负载工作电压为 250V，功率因数为 1。三角形联结的任何一台变压器的额定值为 150kW/3=50kW。相电流是 50 000W/250V=200 A，线电流为 200A×√3=346A。移走一个变压器会导致剩余的两台变压器过载 346A-200A=146A，或 (146/200) × 100%=73%。为了防止剩余的两台变压器过载，必须将线电流从 346A 减小到 200A。同时负载必须削减到

$$\frac{\sqrt{3} \times 250V \times 200A}{1000} = 86.5 \text{ kW}$$

为原负载的  $\frac{86.5}{150} \times 100\% = 57.7\%$

开口三角形联结中原来供电给 150kW 负载的任何一台变压器的额定功率变为：

$$\frac{E_{phase} \times I_{phase}}{1000} \text{ 或 } \frac{250V \times 346A}{1000} = 86.5 \text{ kW}$$

两台额定功率为 2×86.5kW=173.0 kW，与普通三角形联结功率为 150kW 的 3 台变压器相比有差异。假设两台变压器用于开口三角形联结供电给相同的负载，而在普通三角形联结中使用 3 台 50kW 变压器。此时变压器需要增加的容量为：

$$173.0kW - 150kW = 23.0kW \text{ 或 } \frac{23.0}{150} \times 100\% = 15.3\%$$

3 台一次和二次绕组都是 Y 形联结的单相变压器如图 20-29a 所示。在每个绕组上只有 57.7% 的线电压 ( $E_{line}/\sqrt{3}$ )，但每一个变压器绕组中流过的电流是线电流。一次侧三角形联结二次侧星形联结的三相变压器如图 20-30 所示。此联结可以提供三相四线，线路 A' B' C' 之间电压为 208V。在每一相和中性点之间的电压为 208/√3 V 或 120V。

当一个三相变压器中有大量的单相负载需要供电时，Y 形联结方式常被使用。中性接地点，或是地线由星形联结的中性点处引出。这允许单相负载通过三相获取电能，三相负载可以直接连接在线路中。单相负载的额定电压为 120 V，三相负载的额定电压为 208 V，这种联结通常用于对雷达装置进行供电的高压电源变压器中。相电压为线电压的 1 / 1.73 或 0.577 (57.7%)。

3 个一次侧星形联结和二次侧三角形联结的单相变压器如图 20-31 所示。这种方案可以将一次侧约为 4000 V 的线电压降为 115 V 或 230 V，具体取决于每个变压器二次绕组并联方式，二次输出电压为 115 V。一次侧使用 Y 形联结更加经济，线电压比相电压高出 73%，并且线电流较低，从而降低了线路损耗，提高了传输效率。

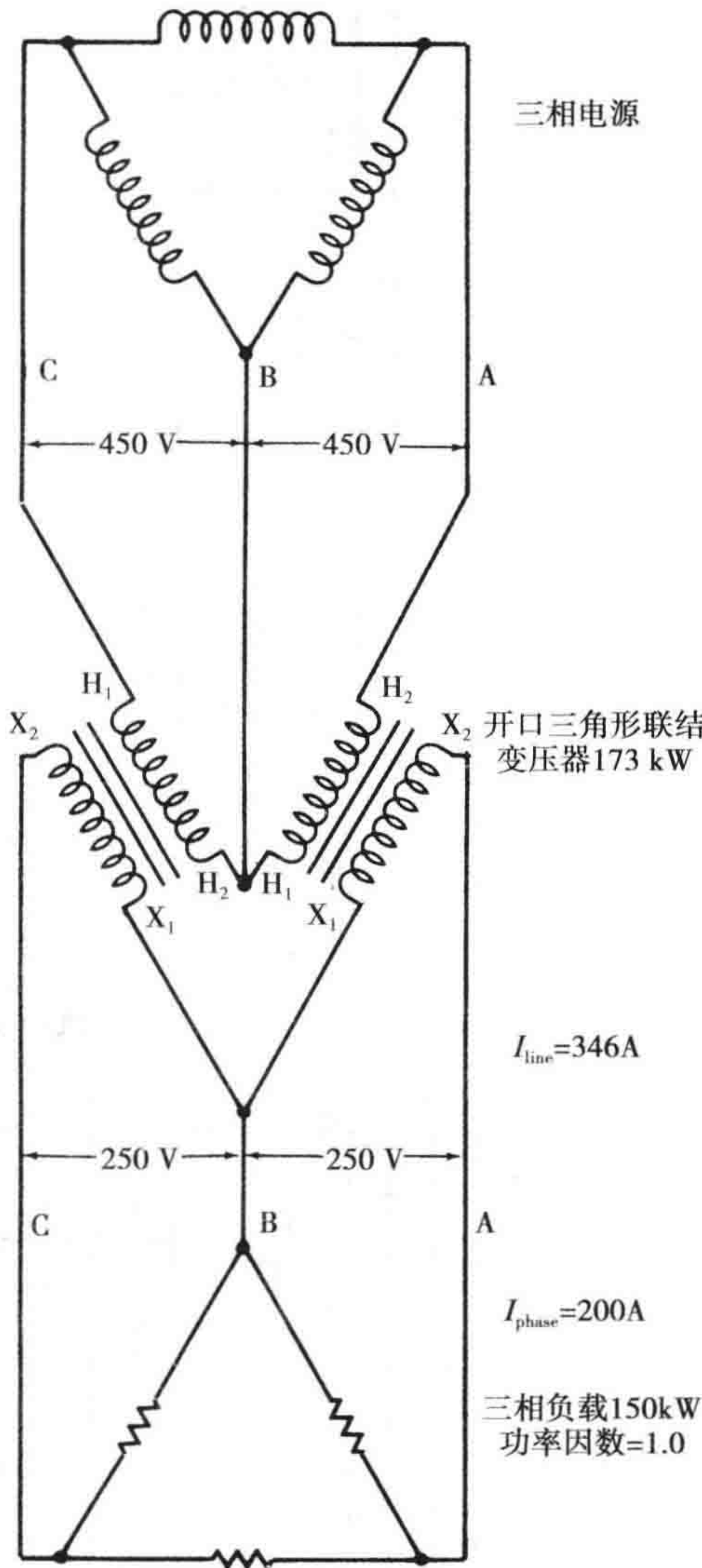


图 20-28 开口三角形联结阻性负载



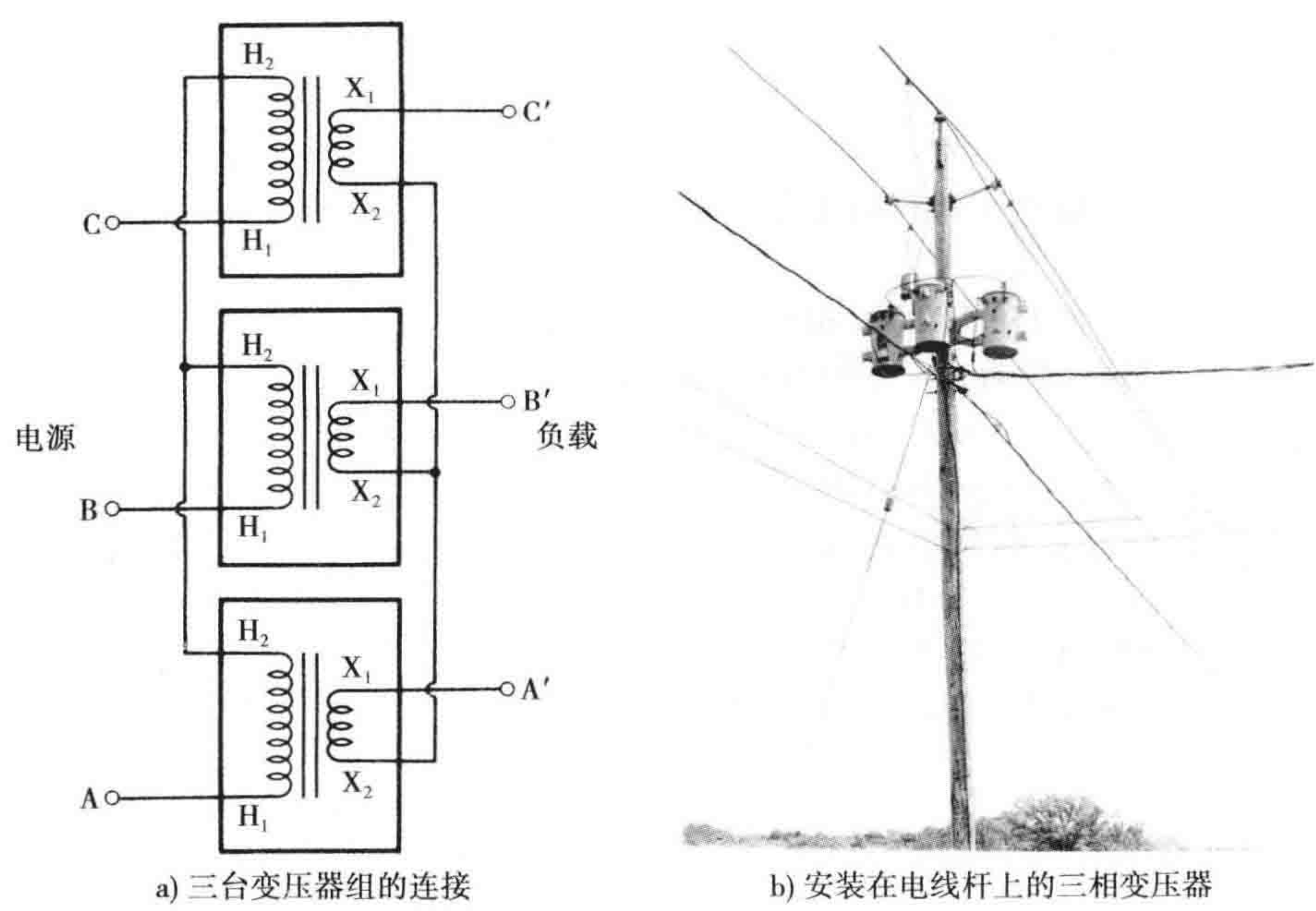


图 20-29 三相变压器

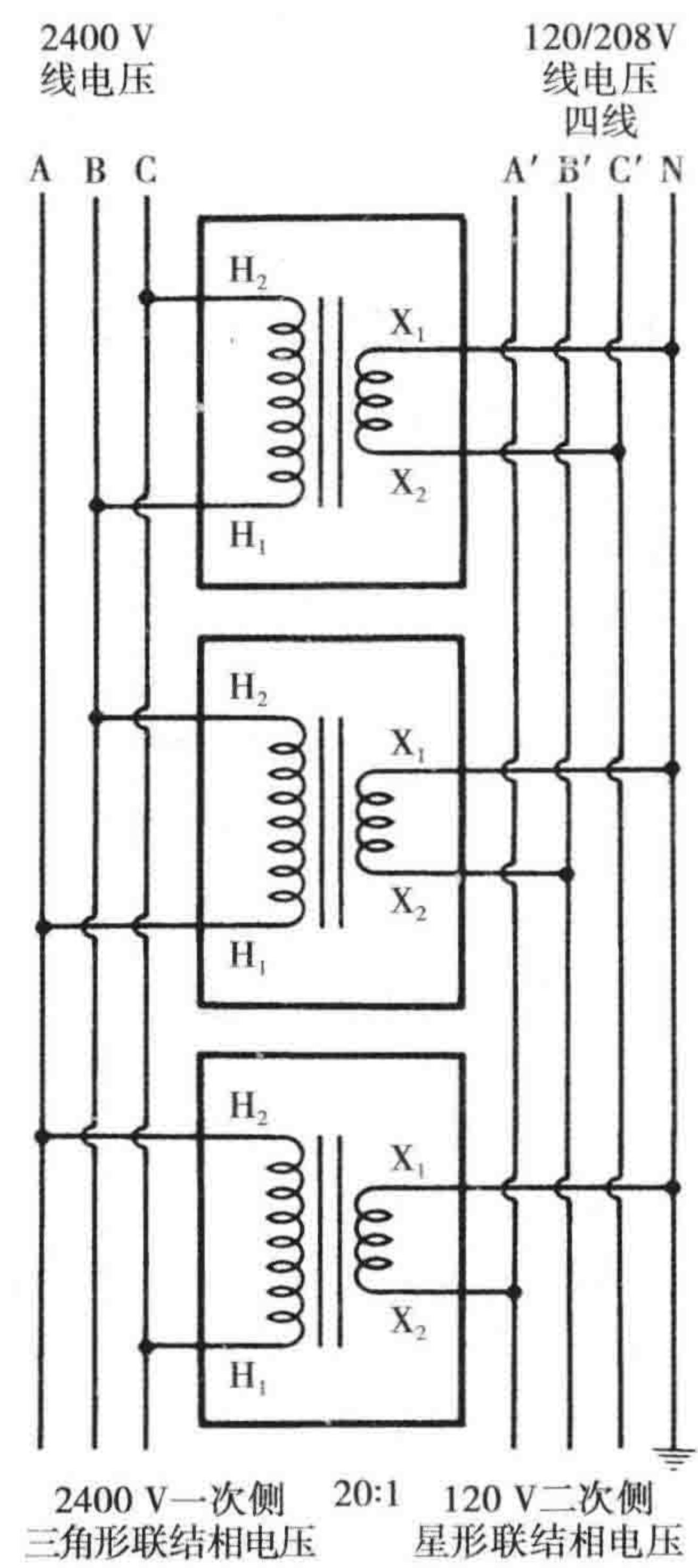


图 20-30 D-Y 联结的变压器组

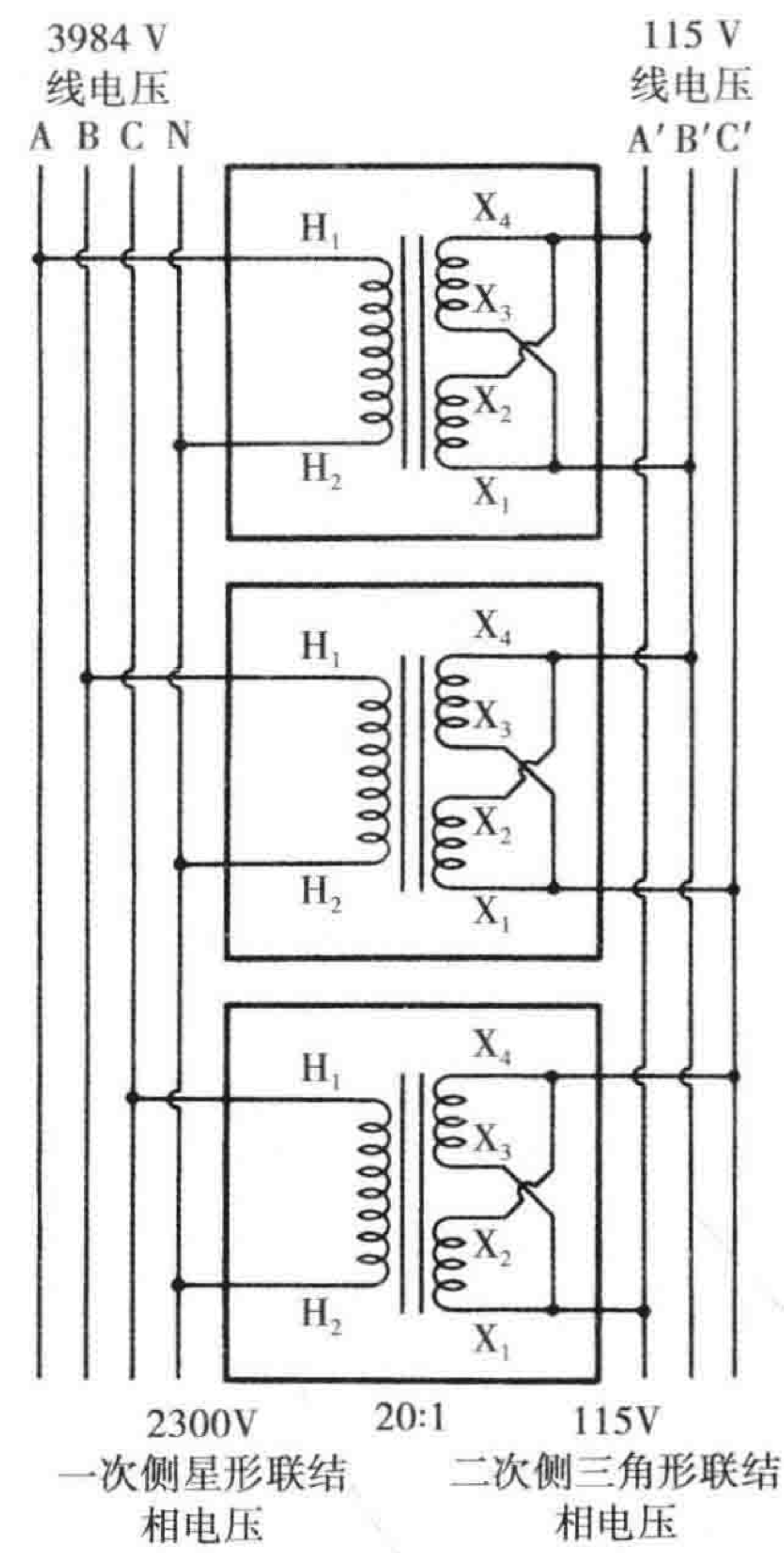


图 20-31 Y-D 联结的变压器组







SLG (信号灯, 绿色): 当灯亮时, 表明自动转换开关连接到公共电源 (正常电源) 上。  
SLR (信号灯, 红色): 当灯亮时, 表示自动转换开关连接到发电机组 (应急电源) 上。  
TDC (时间延迟, 冷却): 负载转移之后, 延迟关闭发电机, 允许发电机从工作温度上冷却下来。

TDE (时间延迟, 紧急): 延迟转换开关将负载从故障电源切换到备用发电机上的时间。此延迟通常设置为零, 除非有一个以上的转换开关处理发电机组上的负载。在这种情况下, 你可能要设置时间延迟, 以使所有的开关不能在同一时间转移负载。

TDN (调整延迟, 正常): 当电源暂时断开时延迟起动发电机, 然后恢复。这个时间延迟避免了发电机的有害起动。

TDR (时间延迟, 再转移): 当正常电源恢复时, 延迟将负载从发电机 (应急电源) 上转回公共电源 (正常电源)。这种延迟给了正常电源稳定自身的时间。

TNS (测试正常开关): 模拟正常电源故障。操作此开关时, 备用发电机起动运行。然后, 转换开关在适当的时间将负载转接到发电机上。经过由 TDR 规定的发电机运行时间后, 转换开关重新将负载转接到正常电源上, 并关闭发电机。如果测试时重要负载不允许中断供电, 则需要配合使用自动转换开关和旁路隔离开关。

VSE (电压传感器, 应急): 感知发电机产生正常电压, 如果此时频率 (见 FSE) 也是正常的, 则向转换开关发出信号将负载转接到发电机。

VSN (电压传感器, 正常): 当感知到公共电源 (正常电源) 中任何一相的电压低于正常电压时, 通过 ECC 触发发电机起动控制。当感知到正常电源恢复之后, 向转换开关发送信号将负载转接到正常电源。然后, 给发电机控制发送信号使其开始冷却和关闭。

对于一个可靠的自动应急电源控制系统来说, 除了上述提到的基本部件外, 还可添加灯、仪表和专用配件, 这取决于装置的具体情况。附件可能包括附加的时间延迟、手动控制、发电机控制配件和指示器等。然而, 如果进行恰当设计和协调, 以上部件将能够对两个电源 (一个正常电源、一个紧急电源) 的自动转接进行可靠控制。图 20-33 所示为上述情况的示例。一个机壳可以将以上为了切换的所有控制集中在内。

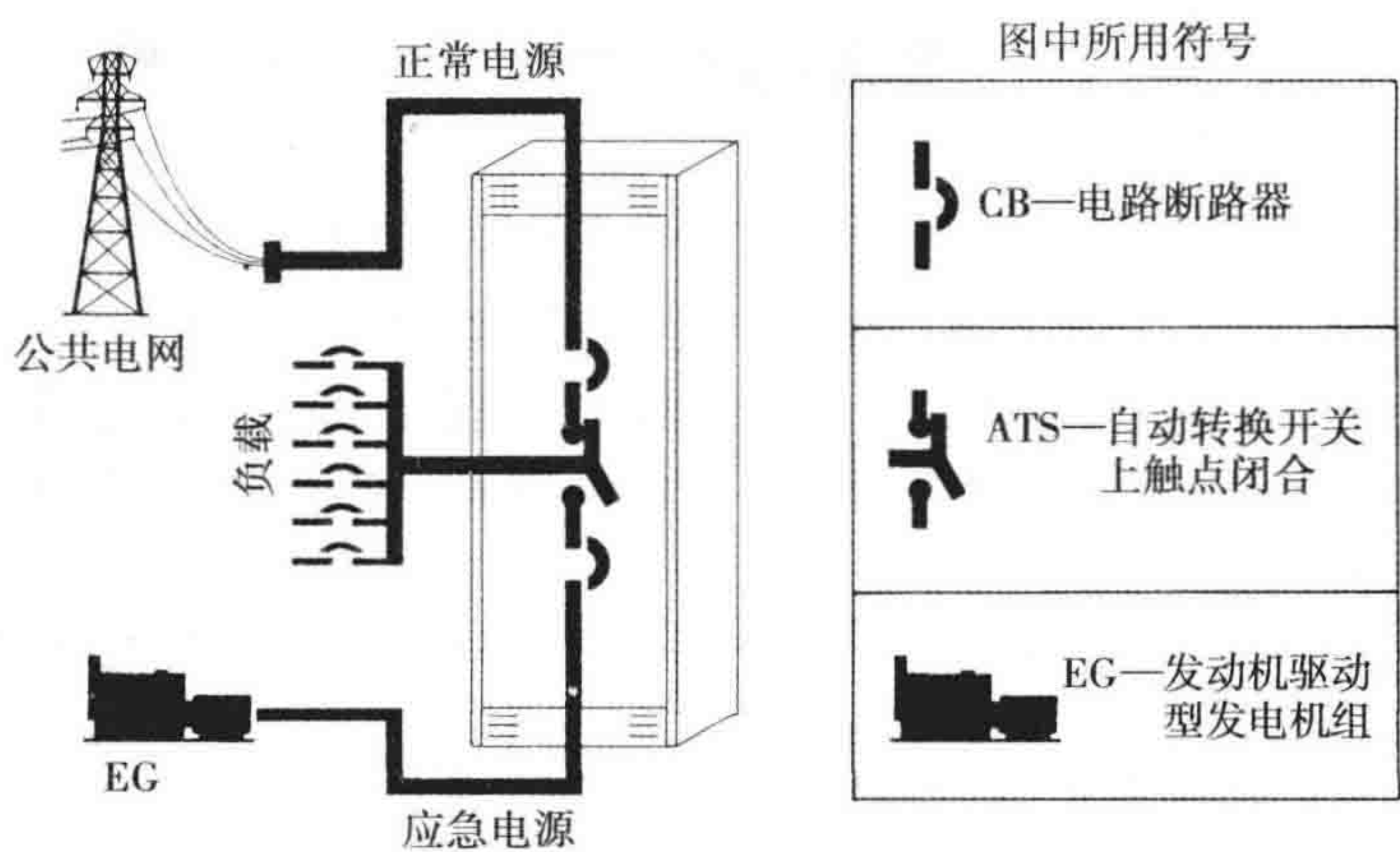


图 20-33 供电故障中需处理的所有控件 (Automatic Switch 产品)

对应急电源系统中的自动装置和转接开关进行测试和检查是很重要的, 因为它是应急电源系统的核心和大脑。它感知电源故障, 发出信号起动发电机, 转移负载, 再将负载转移回正常电源, 关闭发电机。如果自动转换开关出现故障, 则系统中没有其他任何部件可以代替它。

然而, 在医院和其他公共设施中, 电力供应中断可能会危及人类生命, 此处的电源转换开关必须定期检测。但是这样做又是十分困难的, 因为检测人员不想供电有片刻中断。对于



那些对电力中断和停机时间无法接受的设备，一个自动转换开关和一个旁路隔离开关（见图 20-34）就可以解决问题了。自动转换和隔离开关单元与自动转换开关在电气线路中处于同一位置（见图 20-35）。

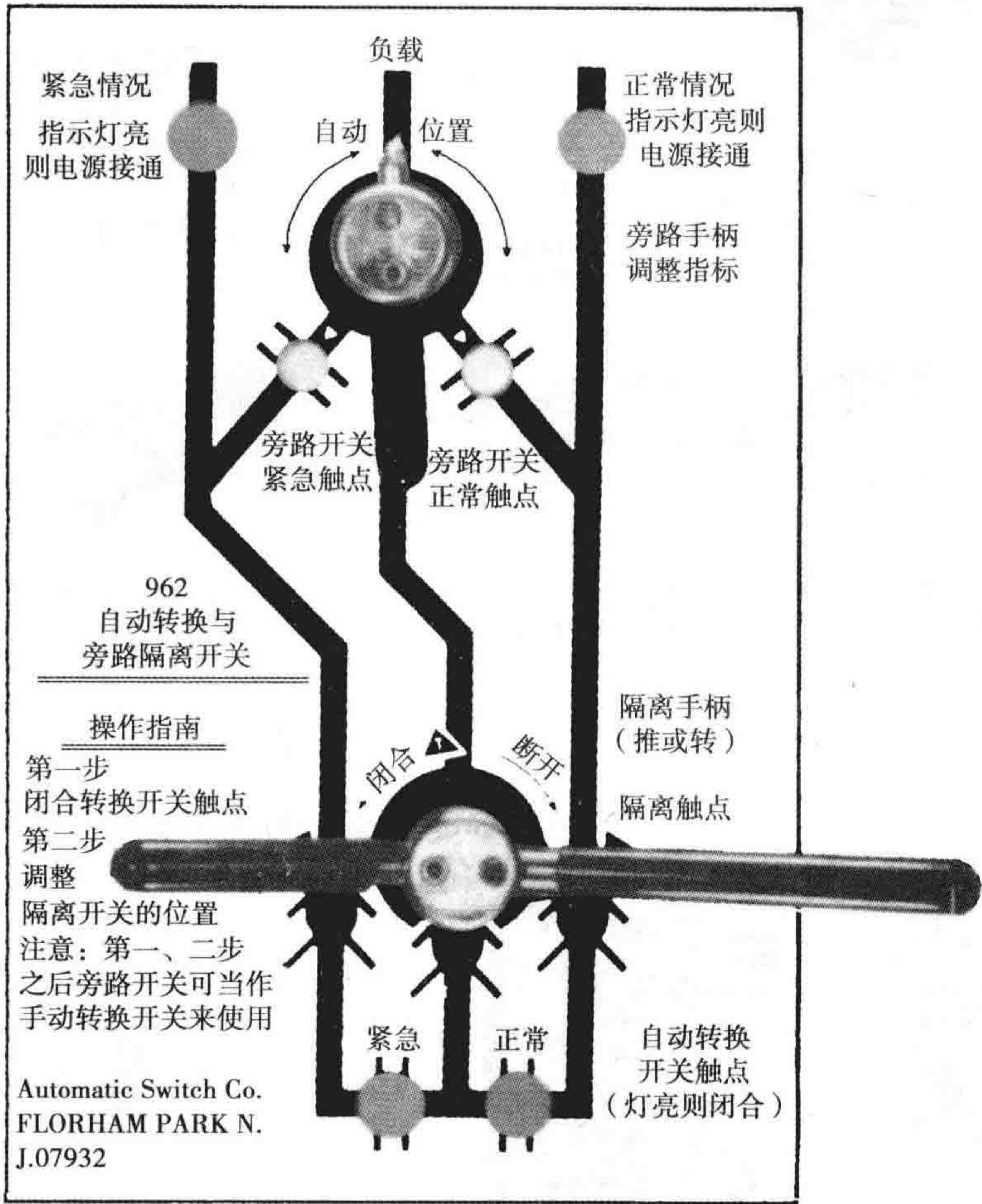


图 20-34 自动转换和旁路隔离开关（Automatic Switch 产品）

20.7.2 开关柜

有许多制造开关柜的制造商。每个制造商做着同样的事情，但方式稍有不同。Square D 公司生产的额定短路电流为 20 000A 的开关柜称为 QMB。这种类型的配电柜使用熔丝开关，开关是组合式的，如图 20-36 所示。红色和黑色的操作手柄及明显的开 - 关铭牌清晰地标明了闸刀的位置。当开关柜门打开时，闸刀是完全可见的，整个熔丝显露出来，方便电路测试、安装及更换。它们内置有双盖闭锁及位置锁定功能的熔丝拔钳（可流过 100A 的电流）。这些开关的额定容量从 30~800A。开关柜如图 20-37 所示。用于电动机起动的断路器有可能是热磁断路器，也可能是电磁脱扣断路器（见图 20-38）。

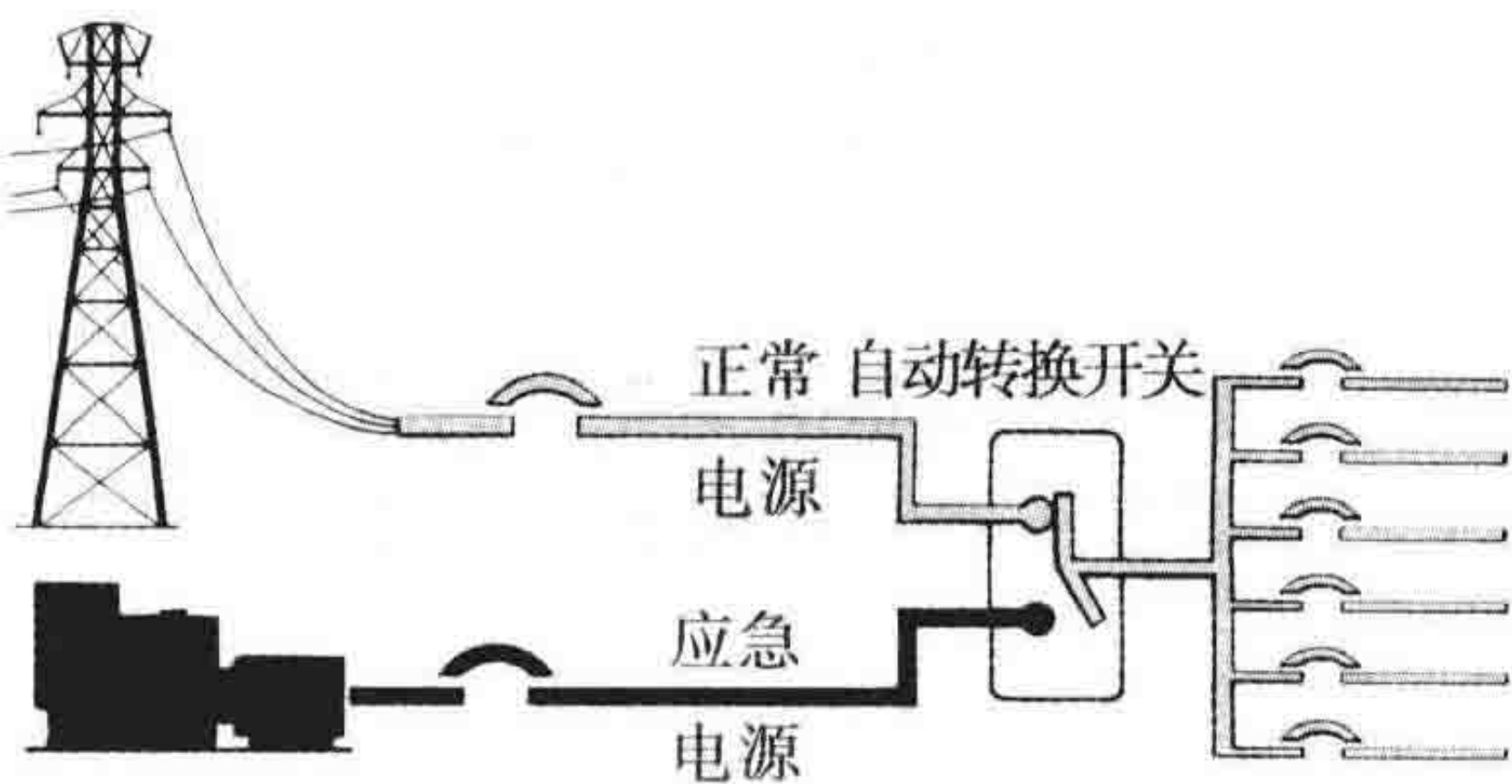


图 20-35 基本系统中的自动转换开关（Automatic Switch 产品）



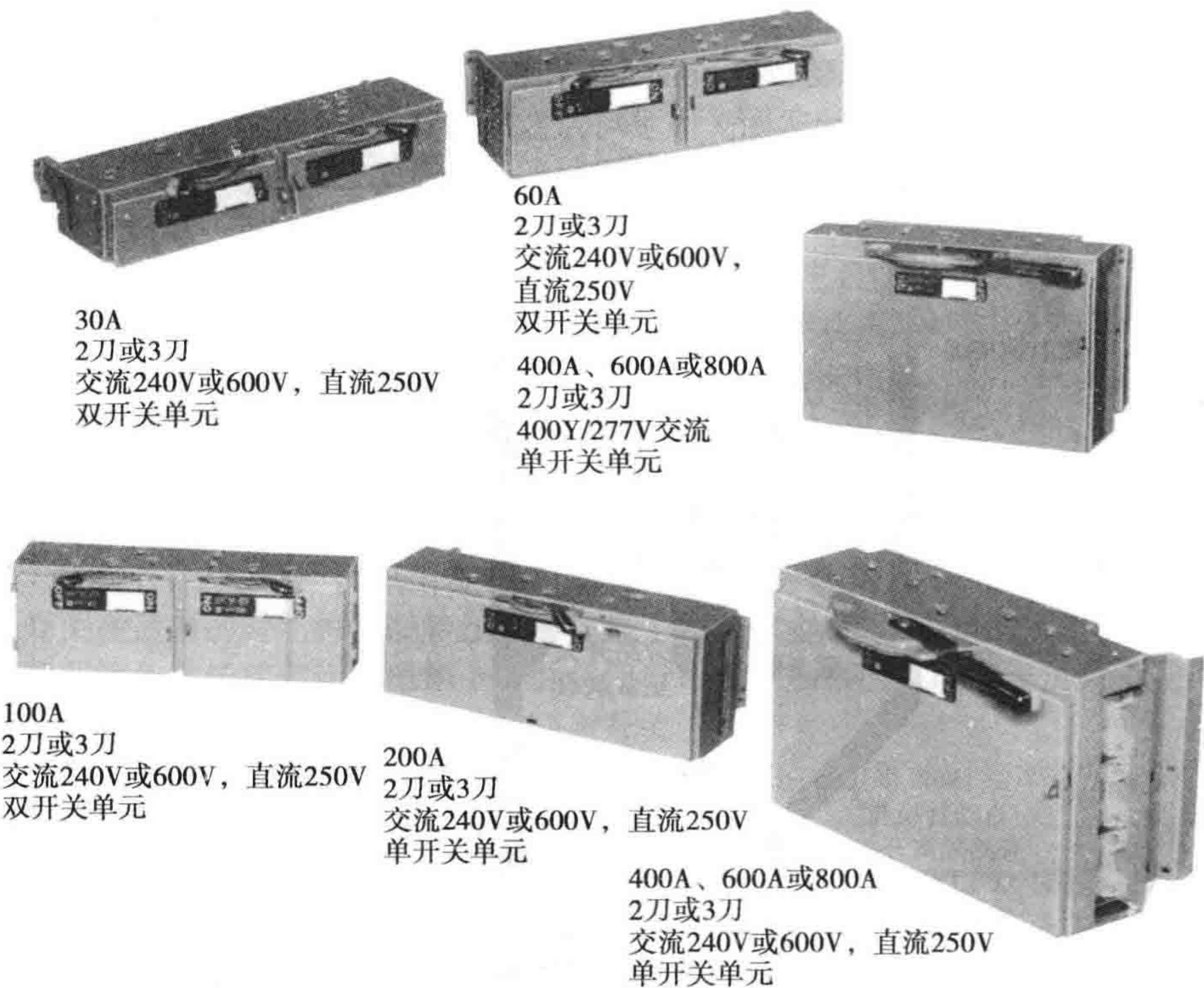
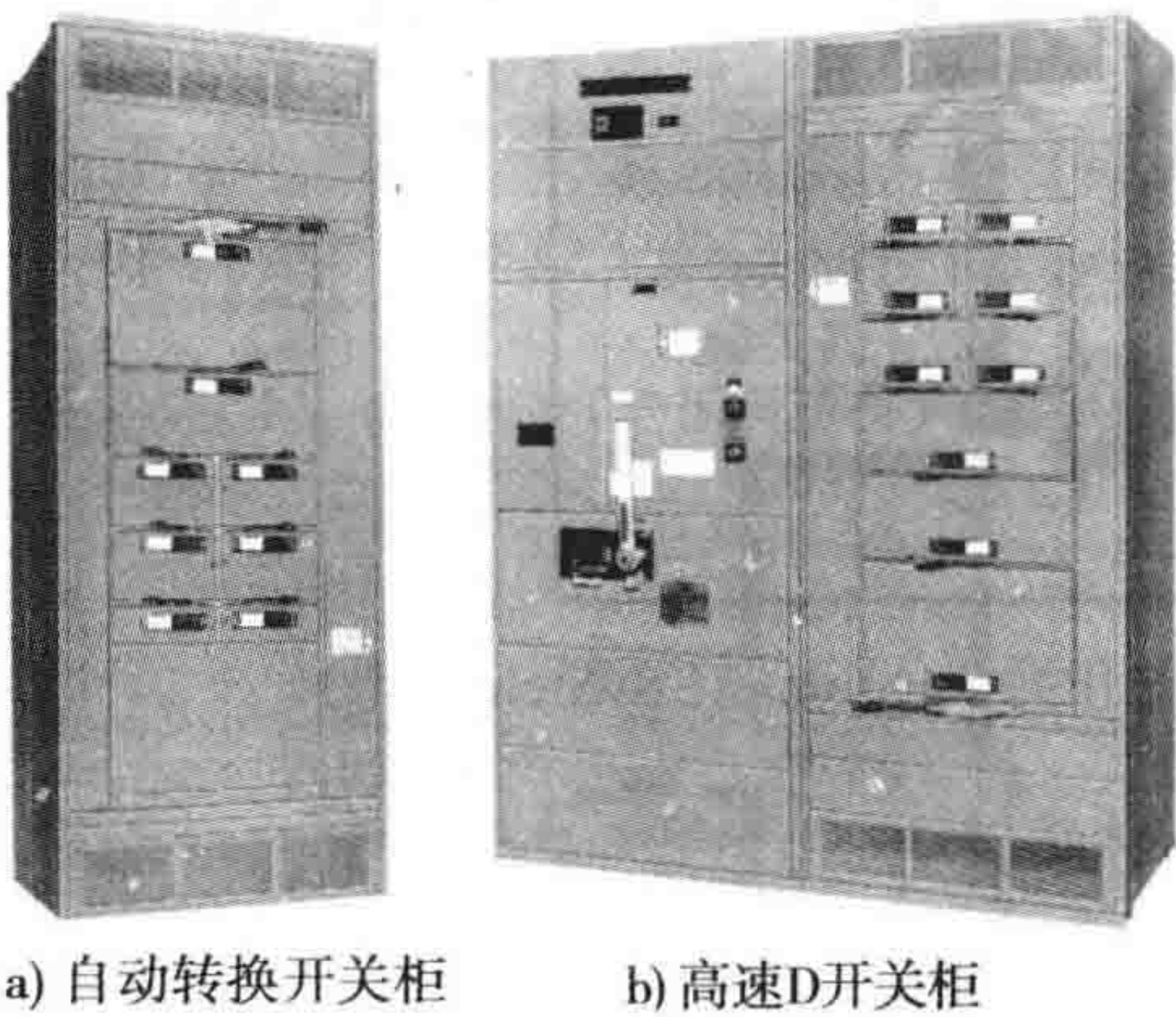


图 20-36 熔丝开关 QMB (Square D 产品)



a) 自动转换开关柜      b) 高速D开关柜  
图 20-37 开关柜 (Square D 产品)

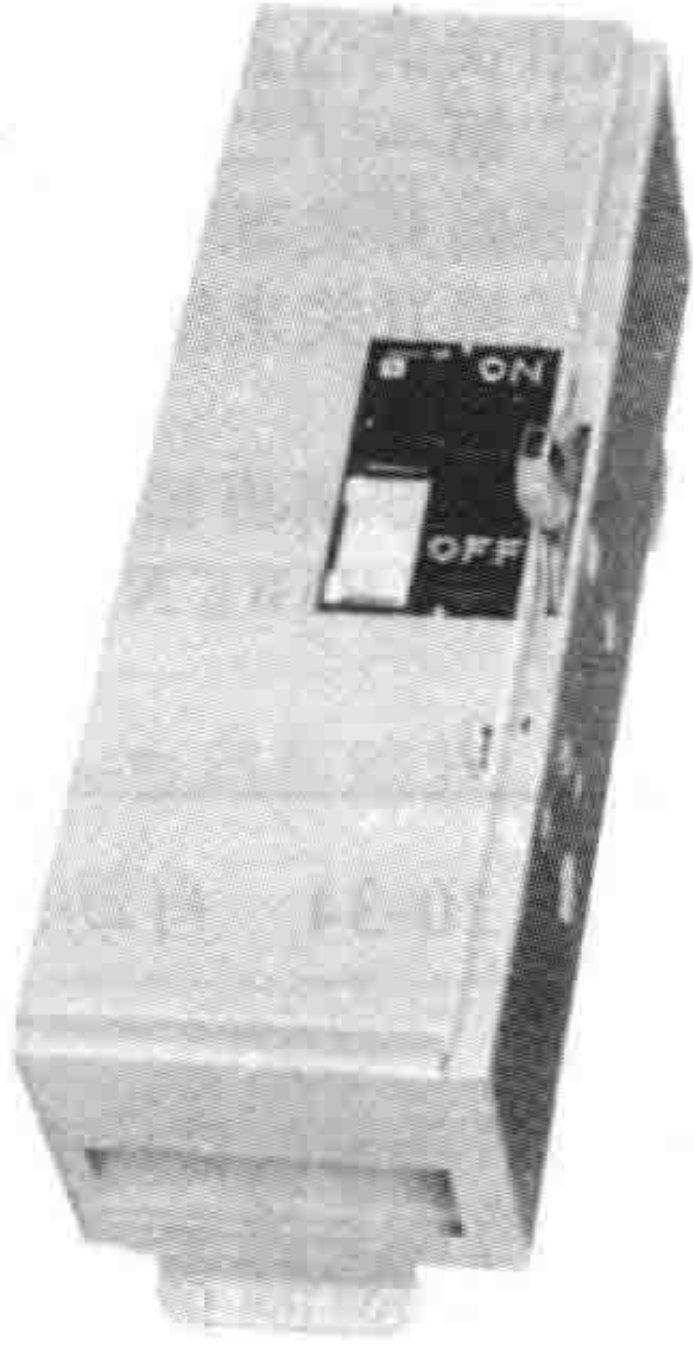


图 20-38 15A 至 400A 的断路器单元 (Square D 产品)

带有逆变或非逆变类型的电动机起动柜的电压为 120~160V，起动柜中含有按钮、指示灯、控制变压器和熔断器（见图 20-39）。

### 20.7.3 配电盘

许多制造商都提供配电盘。其类型十分广泛，对于交流 600V 的配电盘，其最大额定短路电流可以从 10 000~200 000A。插入式或锁接式支路断路器都可以使用。插入的电路与前面板表面的位置相对固定，这样可以确保电路连接正常。

动力配电盘具有很宽范围的电源容量以及电路灵活性（见图 20-40）。主接线片可承受的电流范围为 225~1600 A，分支断路器或熔断器开关的额定电流可以为 15~1200A，主断路器或主熔



断开关最大值在 DC600V 时为 1200A。图 20-41 展示了典型的单相和三相动力配电盘接线图。

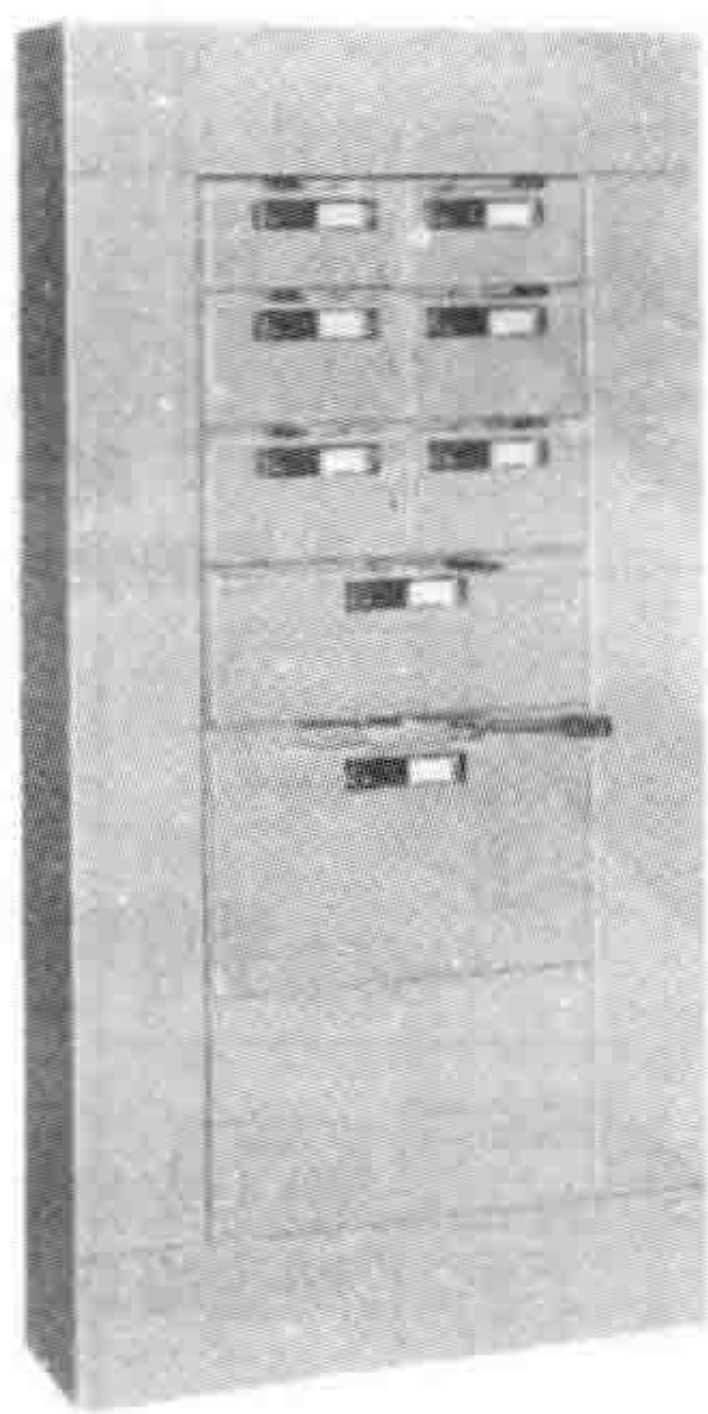


图 20-39 电动机起动器柜 (Square D 产品)

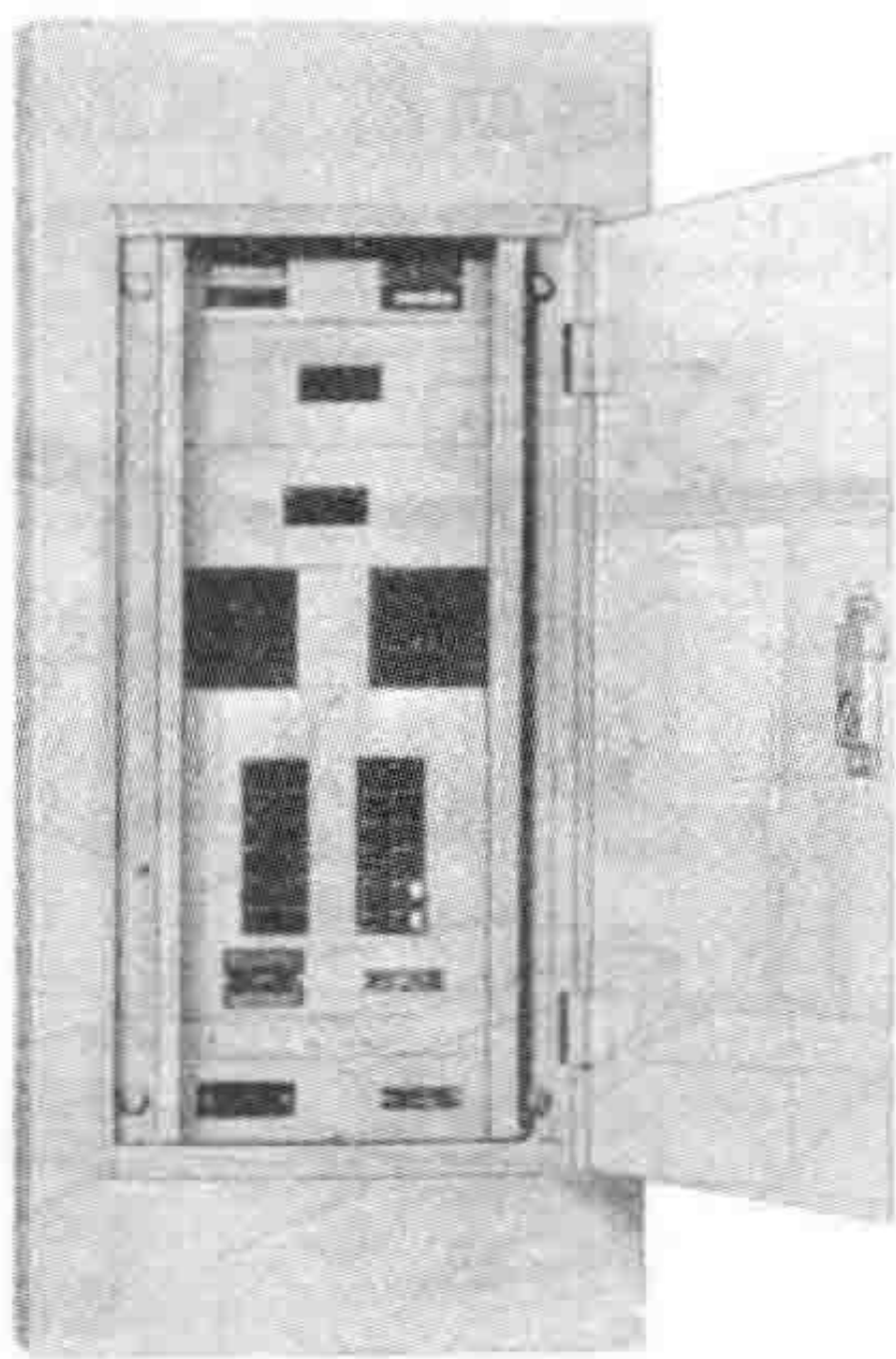


图 20-40 动力配电盘 (Westinghouse 产品)

20.7.4 电缆管道

在向建筑物内的不同负载点供电时，制造商已经想出了许多方法。这需要占用一整本书的篇幅，这里仅仅只能给出一些例子。其主要目的是将电力传输给需要它的电动机或其他设备，而不必将人员和设备暴露在高电压和大电流的危险中。

20.7.5 铝合金墙内电缆管道和地板电缆管道

不断发展的医疗技术增加了对于非铁金属电缆管道的需求。核磁共振成像 (MRI) 是一种利用磁场而不是 X 射线的诊断技术。由于设备需要使用磁场，尽可能消除室内的所有铁磁材料是非常重要的 (见图 20-42)。这些房间通常会使用抬高的地板，并安装带有磁性的电子设备。利用抬高的地板，电缆可在地板下铺设以连接到控制室。这可以用铝质导管来完成。但对于铝质墙内电缆管道而言，在某些情况下，铝合金管道是优选。

20.7.6 电缆桥架

用铝和两种镀锌钢作为材料可以制作一个经济型电缆管道系统，从而支撑和保护电线和电缆在室外和室内的铺设 (见图 20-43)。

电缆桥架并不是电缆管道。它们是根据美国国家电气规程第 318 章规范来制作的。电缆桥架像是开放的赛车道一样，由钢、铝或合适的非金属材料组装而成。它们用于铺设建筑物中的电缆。通过槽式桥架和梯式桥架使电缆在一个牢固且坚强的支撑下到达目的地。

图 20-44 示例说明了电缆桥架是如何铺设以及如何用来支持较重电缆的。该桥架是由直线段辅以恰当的配件组成的，以便能够适应方向或电缆数量的变化。它们通常是由铝或镀锌钢制成的。

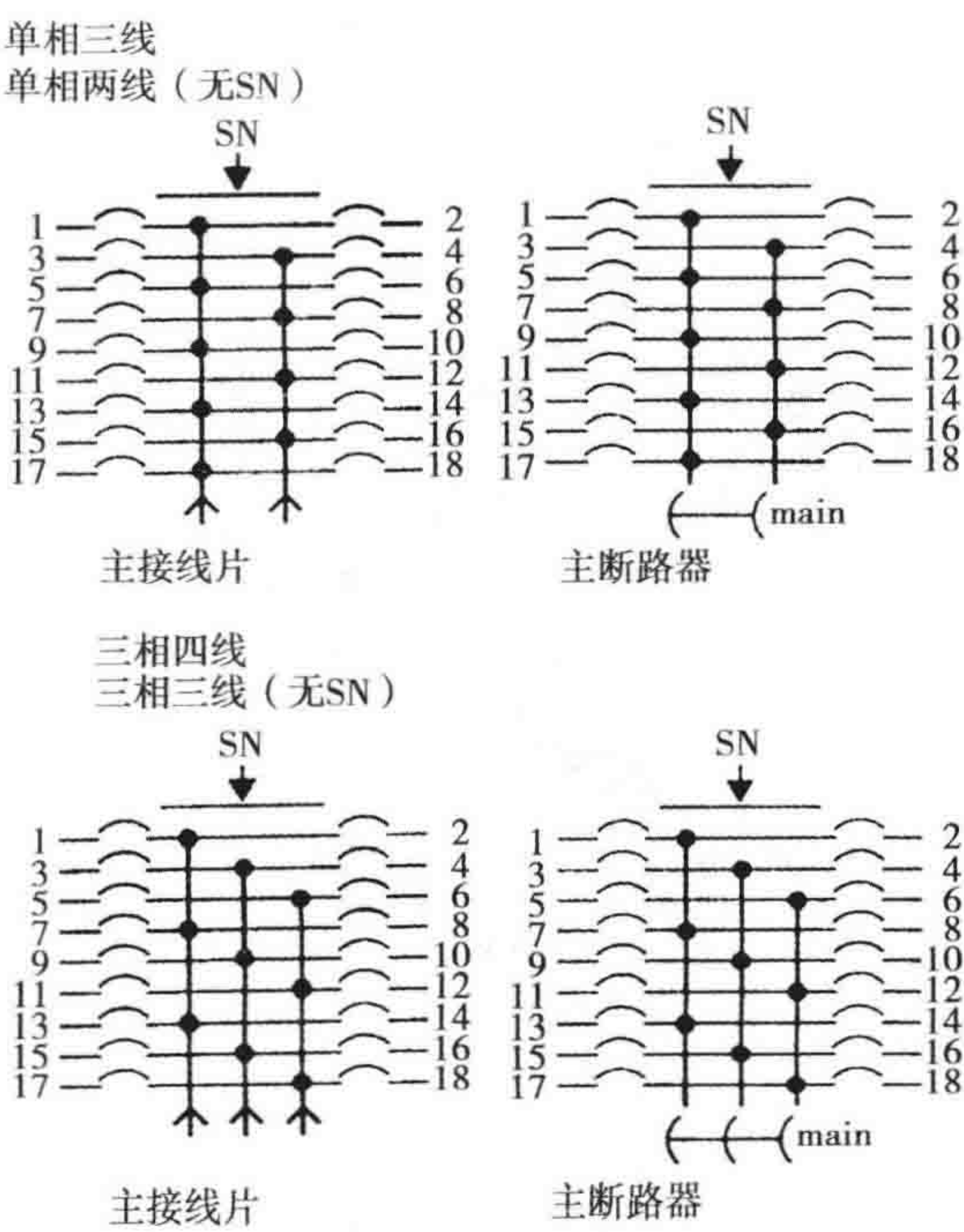


图 20-41 典型配电盘接线图 (Westinghouse 产品)







槽式桥架保护电缆免受损坏，并给予其良好的支撑和充足的通风。一般一些实底架配件不会有通风问题，因为它们很短，仅是系统的一小部分。电缆通过直线段能够有良好通风。

梯式桥架可对电力电缆和其他发热电缆提供最好的通风。然而电缆很容易损坏，所以需要加盖板保护。图 20-45 给出了组装桥架和盖板所需的各种配件。适用于电缆桥架铺设的电缆在其外护套上标有 CT（电缆桥架）。

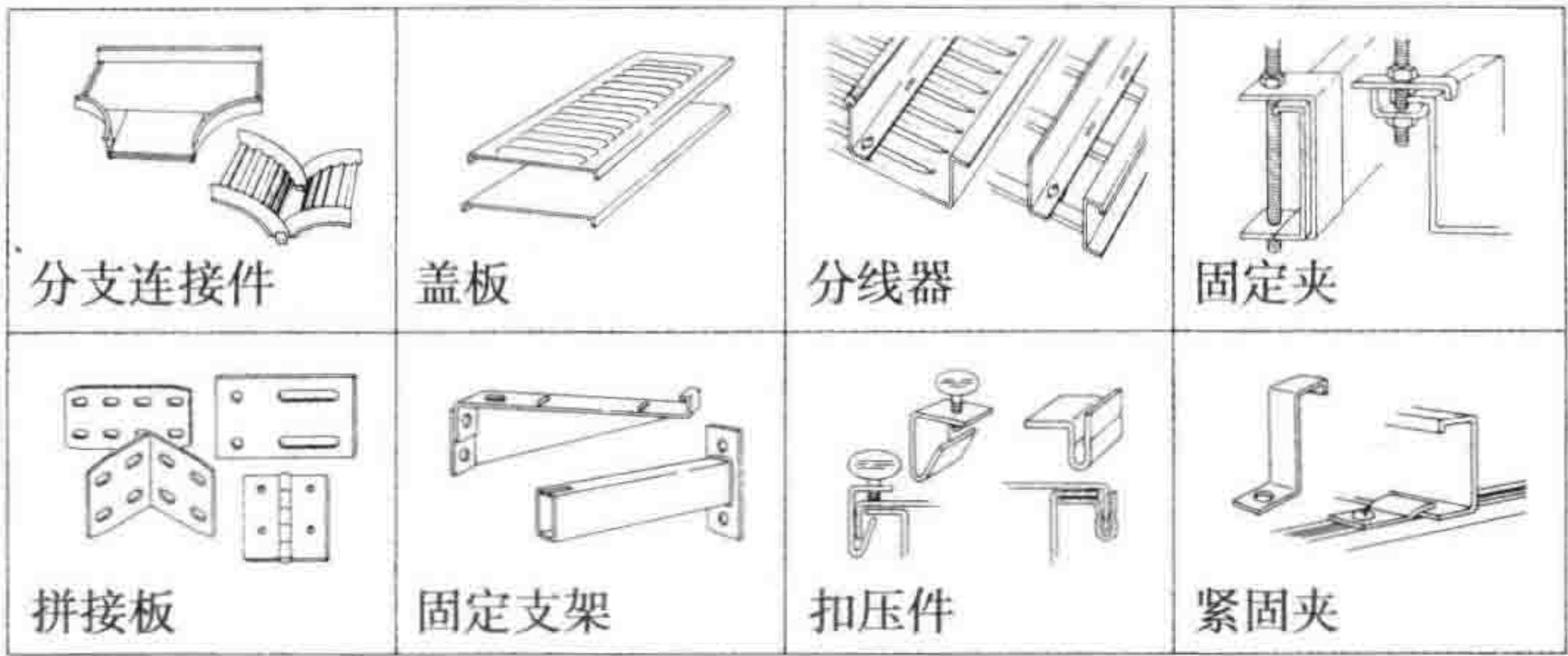


图 20-45 完成电缆桥架安装所需的配件

电缆系统必须完整。它必须作为一个完整的系统来使用，包括直线段、转角、支线接口、鞍形件和其他相关的配件以形成一个连续的电缆支撑系统。它需要遵循 NEC 318-6 (a) 节有关接地的要求。就像是所有电缆管道系统都必须接地一样，桥架系统也必须接地。该规程将电缆桥架视作电缆管道并按其方法进行布线。桥架内铺设电缆的数量、尺寸和位置都有限制，这些限制可以通过查询该规程来获得。

20.8 思考题

- 1. 什么是简单辐射系统？
- 2. 什么是一次侧环网辐射系统？
- 3. 什么是二次侧网络辐射系统？
- 4. 什么是一次侧选择辐射系统？
- 5. 什么是二次侧选择辐射系统？
- 6. 什么是改进的二次侧选择辐射系统？
- 7. 什么是简单网络系统？
- 8. 什么是简单点网络系统？
- 9. 什么是一次侧选择网络？
- 10. 什么是故障电流？
- 11. 哪种系统是应用最普遍的，也是工业二次侧网

- 络系统广泛的应用形式？
- 12. 区分芯式和壳式变压器。
- 13. 描述自动应急电源切换系统。
- 14. 为什么需要定期测试应急电源系统？
- 15. 什么是电缆管道？
- 16. 什么是配电盘？
- 17. 可以将电缆桥架与电缆管道分为同一类吗？
- 18. 适于电缆桥架铺设的电缆有什么标志？
- 19. 为什么需要可靠的电路保护？
- 20. 应急电源服务中的 VSF 代表什么含义？

20.9 练习题

在三相电源电路中，三角形和星形电路是常见的形式，比如大多数商业发电系统就采用了这两种形式。三角形和星形联结用于连接变压器和负载到这些电源上。三角形和星形的转换公式在计算三相电阻时十分有用。这里提到的公式可以在复习时使用。

三角形转换为星形（见图 P-1）：

$$R_a = \frac{R_y \times R_z}{R_x + R_y + R_z}$$
$$R_b = \frac{R_x \times R_z}{R_x + R_y + R_z}$$
$$R_c = \frac{R_x \times R_y}{R_x + R_y + R_z}$$

星形转换为三角形（见图 P-2）：



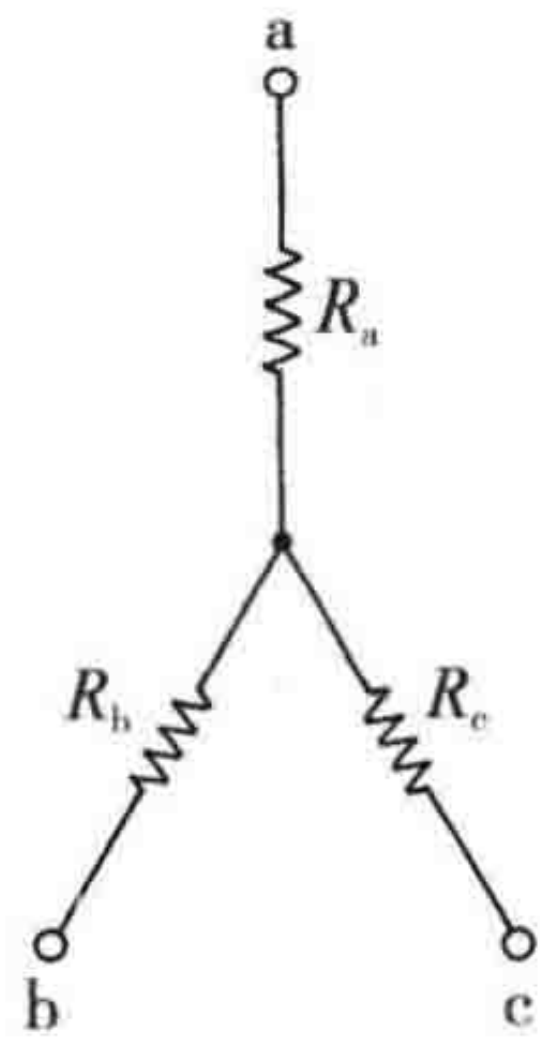


图 P-1

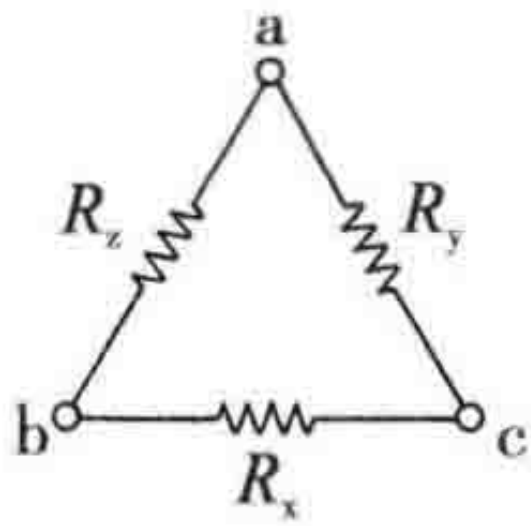


图 P-2

$$R_x = \frac{(R_a \times R_b) + (R_b \times R_c) + (R_c \times R_a)}{R_a}$$

$$R_y = \frac{(R_a \times R_b) + (R_b \times R_c) + (R_c \times R_a)}{R_b}$$
$$R_z = \frac{(R_a \times R_b) + (R_b \times R_c) + (R_c \times R_a)}{R_c}$$

- 1. 图 P-1 所示电路中， $R_a$  是  $6000\ \Omega$ ， $R_b$  是  $2000\ \Omega$ ， $R_c$  是  $3000\ \Omega$ 。 $R_y$  的值是多少？
- 2. 求出问题 1 中  $R_x$  的值。
- 3. 求问题 1 中  $R_z$  的值。
- 4. 角形电路，如图 P-2 所示，所有电阻大小相同（ $12\ 000\ \Omega$ ）。求解等效星形电路中相应的电阻值。
- 5. 在图 P-2 所示电路中， $R_x$  是  $20\ 000\ \Omega$ ， $R_y$  是  $10\ 000\ \Omega$ ， $R_z$  是  $30\ 000\ \Omega$ 。求解等效星形电路中  $R_c$  的值。



# 第 21 章

## 可编程序控制器

### 21.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 描述利用 PWM 工作的固态控制器。
2. 列举控制器的标准电子特性。
3. 识别可编程序控制器 (PLC) 系统的组成部分。
4. 定义接口与输入 - 输出。
5. 区分可编程序控制器中的并行接口与串行接口。
6. 解释串行数据通信接口标准 (RS-232C)。
7. 辨别带电气噪声的 PLC 故障。
8. 解释 PLC 的固态可靠性。
9. 至少列举 5 种可用于 Square D 公司 PLC 系统的处理器。
10. 列举 3 种带有 PLC 的显示系统。
11. 解释单元控制器的工作原理。
12. 解释微型单元与小型单元的区别。
13. 论述 PLC 技术的未来。

### NEMA 对 PLC 的定义

美国国家电气制造商协会 (NEMA) 对可编程逻辑控制器的定义如下：一种为在工业环境下应用而专门设计的数字运算的电子装置，它采用可以编制程序的存储器，在其内部存储执行逻辑运算、顺序运算、计时、计数和算术运算等的指令，并能通过数字式或模拟式的输入和输出模块，控制各种类型的机械或生产过程。

### 21.2 固态电子学

随着固态电子学的不断发展，电动机的控制更加方便了，并可根据负载的需求与变化实现预测。电子设备可以检测断相、反相、开路以及短路，也用在有低起动电流高起动转矩的场合，同时会减小轻负载下电动机的电压，节约能源。

此类控制器通常应用在食品加工、饮料装瓶、纺织机械、起重机、皮带传动设备、传送带、通用机械、物料搬运、压缩机、机床等设备使用电动机的场合。图 21-1 所示为固态交流电动机的控制电路，注意控制逻辑与过载保护模块。此类电子产品用于轻负载情况下的软起动与减压起动。



使用电子元器件的变频驱动器可以实现由固定频率的输入到变频输出的转换。整流器将输入的交流电源电压转换为固定电位的直流母线电压。直流电压进而被三相脉宽调制 (PWM) 逆变器逆变成变频输出, 其电压与频率成比例地调整使电动机的电压恒定, 直到频率达到 60Hz。高于 60Hz 时, 电动机的电压恒定为额定电压。这样可以得到高效率的速度控制, 其频率可调范围为 6~120Hz。

控制器的标准电参数特征

电子电路提供的一些标准保护性特征为瞬时断电保护。若断电超过 15ms 则控制器就会跳闸。电子装置可提供瞬时电子过电流保护、反时限过载保护以及欠电压保护, 还有直流母线过载保护与控制器过热保护。转矩 (电流) 限制保护在必要时会自动延伸以进行加速或减速。电路运行在稳定状态时, 当电流超过调节值时, 输出频率将减小。接地故障的电子保护也在成套设备中。阻尼器网络可对交流输入线路的瞬变提供浪涌电压保护, 电源与逻辑电路之间会有电气隔离。可编程序控制器可以完成以上操作, 甚至更多功能。

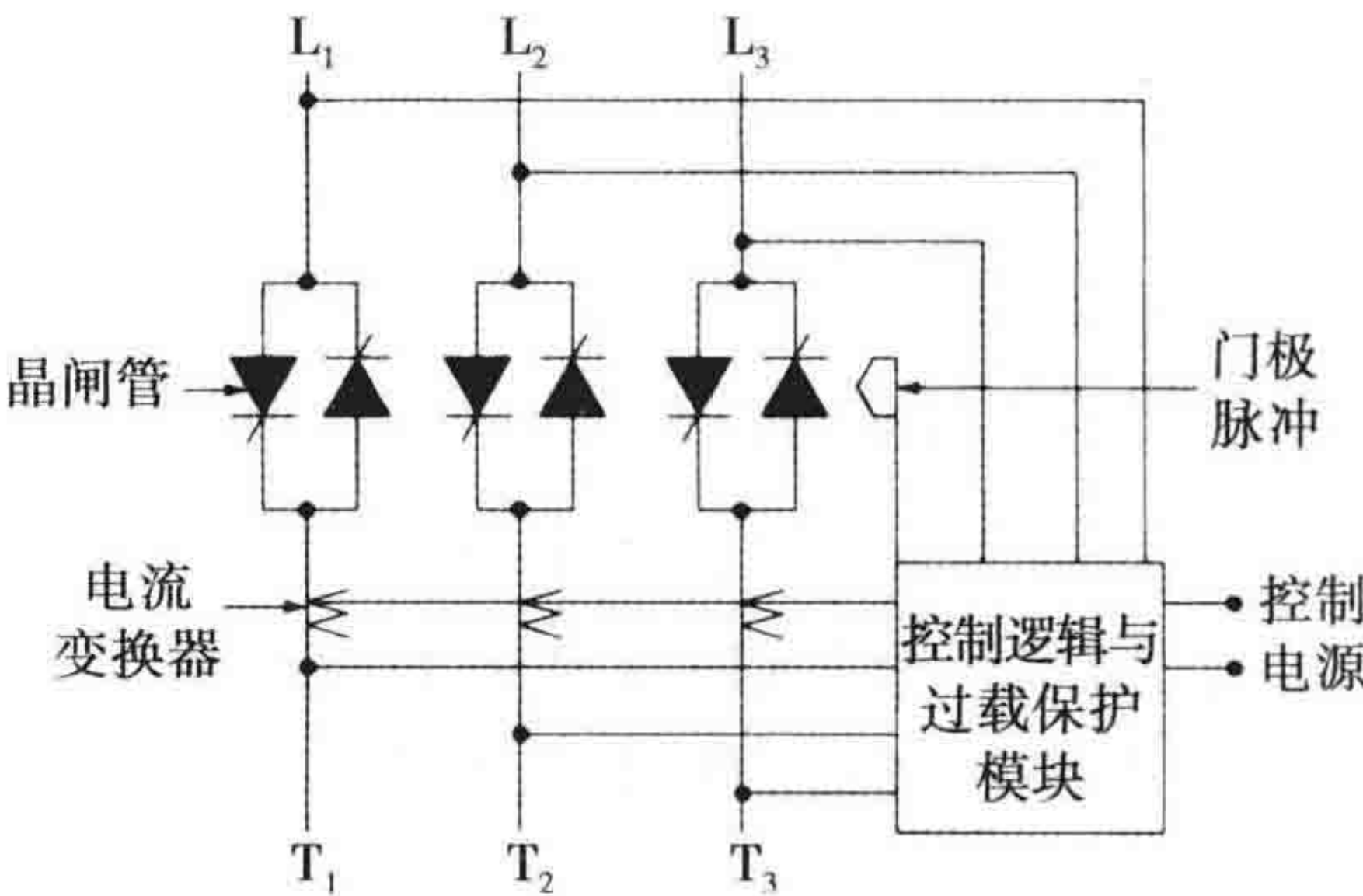


图 21-1 固态交流电动机控制电路 (Westinghouse 产品)

21.3 可编程序控制器

可编程序控制器由电源、处理器以及输入 / 输出模块组成。图 21-2 所示为可编程序控制器的系统框图。输入可以是键盘, 也可以是限位开关、压力开关、温控器或其他可提供开关状态的设备。

可编程序控制器具有存储器, 因此可编程, 可存储得到的信息, 并将该信息与编程后的信息进行比较然后做出决定。PLC 通过输出模块将信号传输给被控电动机。

21.3.1 输入 - 输出

可编程序控制器与外部连接的接口称为输入 - 输出端口。输入端口将数据从键盘或其他输入设备传送到控制器中。输出端口则将数据传输至输出设备 (如电动机)。总线在系统的主要部件之间传输信号。

21.3.2 接口技术

接口用于描述控制器与所控电动机、控制器与开关或待完成过程所需传感设备进行交互时发生的情况。可编程序控制器可通过端口与其他部分相连。控制器需要信息输入, 当其根据程序处理完信息后, 会发送信息。

在一些情况下, 可编程序控制器可利用计算机键盘编程, 相关信息可显示在阴极射线管

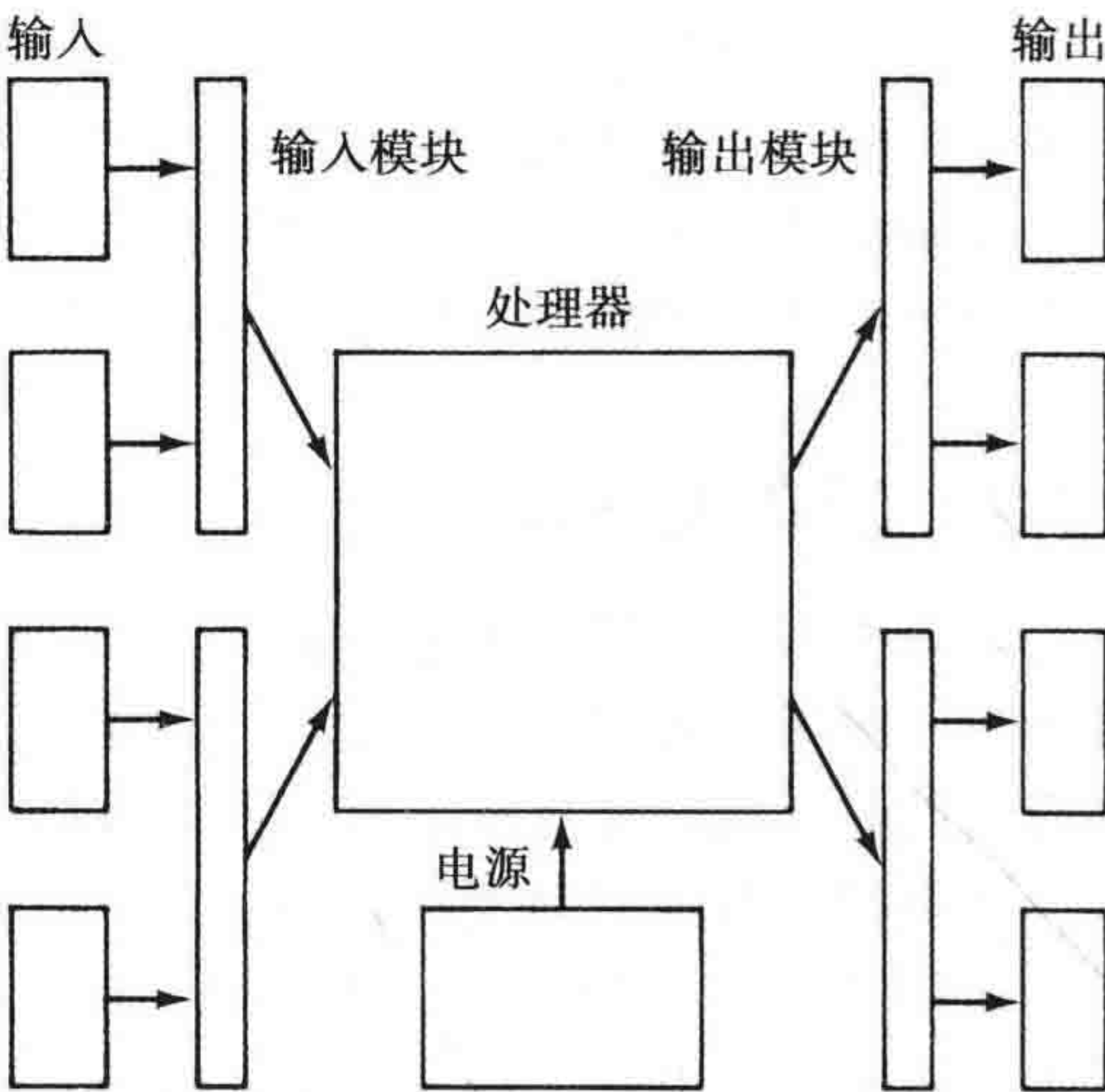


图 21-2 PLC 系统 (包括输入 / 输出) 框图



(CRT) 或 LCD 上，并在控制器存储信息之前检测其准确性。

21.3.3 ASCII 码

数字信息是通过 ASCII 码（见表 21-1）来处理并传送的。为了与控制器交换信息，需要向构成处理单元的微处理器或芯片输入指令。因此需要设计出一套特殊的编码，以使人们可通过键盘键入指令。然而，键盘上的按键就是一个开关，按下按键会向解码器发送一个脉冲，而它会生成特定的二进制码。这种二进制码通常是美国信息交换标准码 (ASCII)。

表 21-1 七位 ASCII 码

A	1 000 001	a	1 100 001	0	0 110 000
B	1 000 010	b	1 100 010	1	0 110 001
C	1 000 011	c	1 100 011	2	0 110 010
D	1 000 100	d	1 100 100	3	0 110 011
E	1 000 101	e	1 100 101	4	0 110 100
F	1 000 110	f	1 100 110	5	0 110 101
G	1 000 111	g	1 100 111	6	0 110 110
H	1 001 000	h	1 101 000	7	0 110 111
I	1 001 001	i	1 101 001	8	0 111 000
J	1 001 010	j	1 101 010	9	0 111 001
K	1 001 011	k	1 101 011	SP	0 100 000
L	1 001 100	l	1 101 100		0 100 001
M	1 001 101	m	1 101 101	..	0 100 010
N	1 001 110	n	1 101 110	#	0 100 011
O	1 001 111	o	1 101 111	\$	0 100 100
P	1 010 000	p	1 110 000	%	0 100 101
Q	1 010 001	q	1 110 001	&	0 100 110
R	1 010 010	r	1 110 010	·	0 100 111
S	1 010 011	s	1 110 011	(	0 101 000
T	1 010 100	t	1 110 100	)	0 101 001
U	1 010 101	u	1 110 101	*	0 101 010
V	1 010 110	v	1 110 110	+	0 101 011
W	1 010 111	w	1 110 111	‘	0 101 100
X	1 011 000	x	1 111 000	-	0 101 101
Y	1 011 001	y	1 111 001	.	0 101 110
Z	1 011 010	z	1 111 010	/	0 101 111

ASCII 码由七位二进制数组成，有 128 种可能的组合。1 与 0 的 128 (2<sup>7</sup>) 种组合可以表示所有的大写与小写字母、数字 0~9、包括标点在内的若干特殊字符以及机械控制信息。



### 21.3.4 并行接口

并行接口是微处理器或计算机的输出，通过 8 根导线与扁平电缆相连。其中，7 根导线传输刚才提及的信息，第 8 根导线为选通线路，防止按键弹起引起故障。当开关按键闭合时，它也可能会弹起或产生开 - 关以外的信息。这类噪声或错误信息需要消除，避免其从键盘传输到控制器再到电动机上，这可能会导致电动机动作错误。

### 21.3.5 串行接口

串行接口也可以传输 ASCII 码形式的数据，长距离传输时使用它是十分方便的。并行接口短距离传输很好，但若需要长距离传输信息，最好使用串行接口。

信息的传输可以通过电压或电流的变化来实现。事实上，这两种情况各有两个标准。两个电压标准分别是著名的 RS-232C 与 TTL，而两个电流标准分别是 60mA 电流环路与 20mA 电流环路。正如你所看到的，原始数据或 20mA 都不足以驱动电动机，所以必须使用串行接口来控制一个电路，使该电路可以起动与停止电动机。

RS-232C 接口标准是：信号的电压介于  $-25 \sim -3\text{V}$  之间表示逻辑 1 或“接通”状态，而电压介于  $+3 \sim +25\text{V}$  之间表示逻辑 0 或“断开”状态。这一标准由电子工业协会（EIA）制定。此标准的优点是：线路噪声足够大时才能发出错误信号，而线路的电压损耗也不会像低压时那样影响信号电平。其缺点是：需要在计算机或微处理器处转换成晶体管 - 晶体管逻辑（TTL）。

TTL 标准指定：5V 表示逻辑 1，0V 表示逻辑 0。TTL 标准与 TTL 逻辑及接口直接兼容。超过一段距离的任何数据传输都会存在问题。如果有一个线电压不低于 0.5V，那么就可能会收到错误的数据。由于峰值电压只有 5V，当在电气噪声的环境或者长距离传输数据时，很有可能收到噪声信号。

60mA 标准是指 60mA 的电流为逻辑 1，而 0mA 为逻辑 0。这个标准的主要优点是在长距离传输过程中常出现的噪声不会影响数据传输的质量。然而，此标准的主要缺点是：若将其用作计算机的输入信号，则需要转化成电压信号。

20mA 标准与 60mA 标准基本相同，只是电流为 20mA 时对应逻辑 1，而 0mA 对应逻辑 0。此标准与 60mA 标准的优点相同。若将其用作计算机的输入信号，也需要转化成电压信号。

## 21.4 环境影响性能

许多固态控制器对各方面的环境因素都很敏感，但这些因素与通常影响机电装置的因素不同。因为固态控制器没有活动部件，所以它对设备的一般冲击与振动不太敏感。相对高强度的冲击与振动会造成电路板松动、开裂，元器件引脚断开。一些机电元件易受冲击与振动的影响，此时固态控制器会显得更有优势。固态控制器的安装位置，除了需要较好的通风环境外，通常没有过多要求。

## 21.5 电气噪声

电气噪声定义为通过多种方式进入设备内的非预期电信号。电气噪声能够引起固态装置出现多种故障。电气噪声可覆盖整个频谱范围，呈现出任何波形。固态装置工作于低信号电平时，对于噪声极其敏感。然而固态元件的响应速度可使固态装置对相对较高的频率做出反应。

除非遇到高能量或高电压等级的电气噪声，否则通常的电气噪声不能直接损害组件。除了在某种情况下可以导致机器误操作外，大多数噪声引发的故障是暂时令人烦恼的事故或操作失误（见图 21-3）。



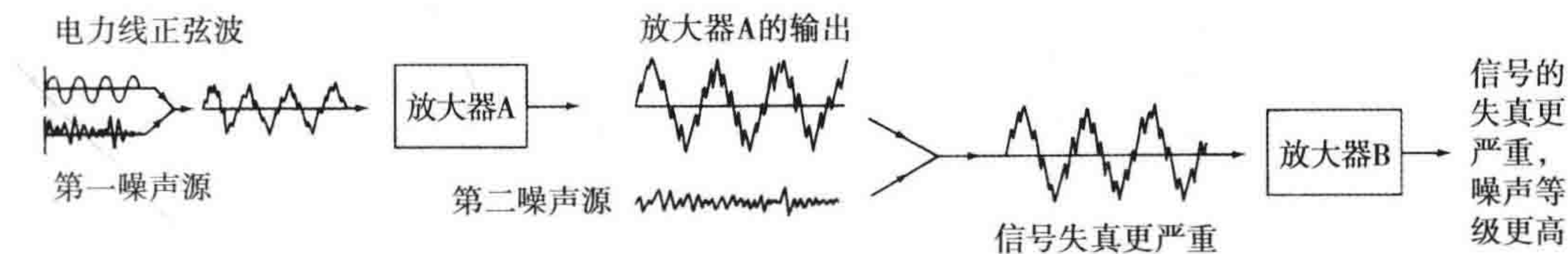


图 21-3 电气噪声

输入线路、输出线路以及电源线是最普遍进入固态控制器中的噪声源。通过这些线路以及携带其他信号的线路间的电容，噪声可静电耦合到线路中。通常，较高的电势与距离很近的长导体是产生耦合噪声的原因。当控制线路与大电流线路相距很近时，也常出现磁耦合。这种情况下，信号就像在变压器中一样通过互感被耦合。电或磁噪声也会直接耦合到控制逻辑电路中，这通常在未封闭、无防护的控制电子设备中出现。如果存在很强的噪声场就可能出现这种情况。噪声还可能从远处以电磁辐射的形式出现。

有时产生噪声并不需要强耦合，进入控制器中的不同线路有可能充当了接收天线。控制电路偶尔会灵敏地探测到辐射信号并对其响应。若遇到此类噪声处理起来十分麻烦，因为此类噪声的频率通常非常高，而且一般条件下的滤波和防护难以奏效。由于多种耦合元件（如控制线路）会显示出不可预料特性，一些特性可能使内置的滤波器无效，所以特定的装置需要用特定的方法。金属外壳可以起到有效的防护作用，金属外壳与柜门及螺栓表面要电气黏合。

许多设计都要反复检测，而且在滤波器、防护装置以及通常不敏感电路的设计方面都做了很多努力。然而，我们不可能设计出能处理所有类型耦合噪声的控制器，尤其是通过外部接线产生的噪声。

21.5.1 安装

从接入控制器开始，就要通过恰当的安装使噪声尽可能控制到最小，尤其是在预期的噪声信号的特征与输入信号十分相似的时候。

21.5.2 接地

接地策略对抗干扰有很大影响，每次接地应只通过一根导线接到其对应的参考点上，这种接地称为单点接地。任何情况下都不应让两个或多个系统共享同一个接地线，无论是设备外壳接地还是控制公共端接地。

21.6 固态元件的可靠性

当固态元件在其额定值范围内工作时，会表现出很高的可靠性。例如，一个双向可控硅平均寿命为 45 万小时或者说在通常使用条件下为 50 年，但即使工作在额定值范围也可能出现故障，刚刚提到的使用寿命是平均值。个别固态元件的故障时间无法像继电器一样通过观察其磨损程度预知。因此当个别装置在进行危险或有潜在危险的控制操作时，建议对其独立检查。另外，固态输出的主要故障出现在其“接通”模式或短路模式上，这一点在特定的关键应用中必须要考虑。

后备操作

任何大小的固态控制器都会出现潜在危险的操作，用来停止操作的应急电路要在控制器外部布置好。例如，行程终端限位开关或紧急制动拉绳开关一类的设备，应当直接操作电动



机起动器，而不是通过控制器逻辑来操作。这样形成的可靠控制方式，应使用最少、最简单且可靠性高的机电部件来构建。因此，一旦控制器彻底失灵，还有独立快速的关机方法。检修或设置后续维护事项时，应提供便捷的方法以断开危险的或潜在危险的机器端口与控制器电路的连接。

21.7 控制器

许多厂商生产可编程序控制器，其电子封装稍有不同。而为了理解处理过程与设备，我们选择 Square D 公司制造的 Sy/Max 处理器系列（见图 21-4）来讨论。这个厂商生产若干种处理器，以尽可能满足客户的需求。

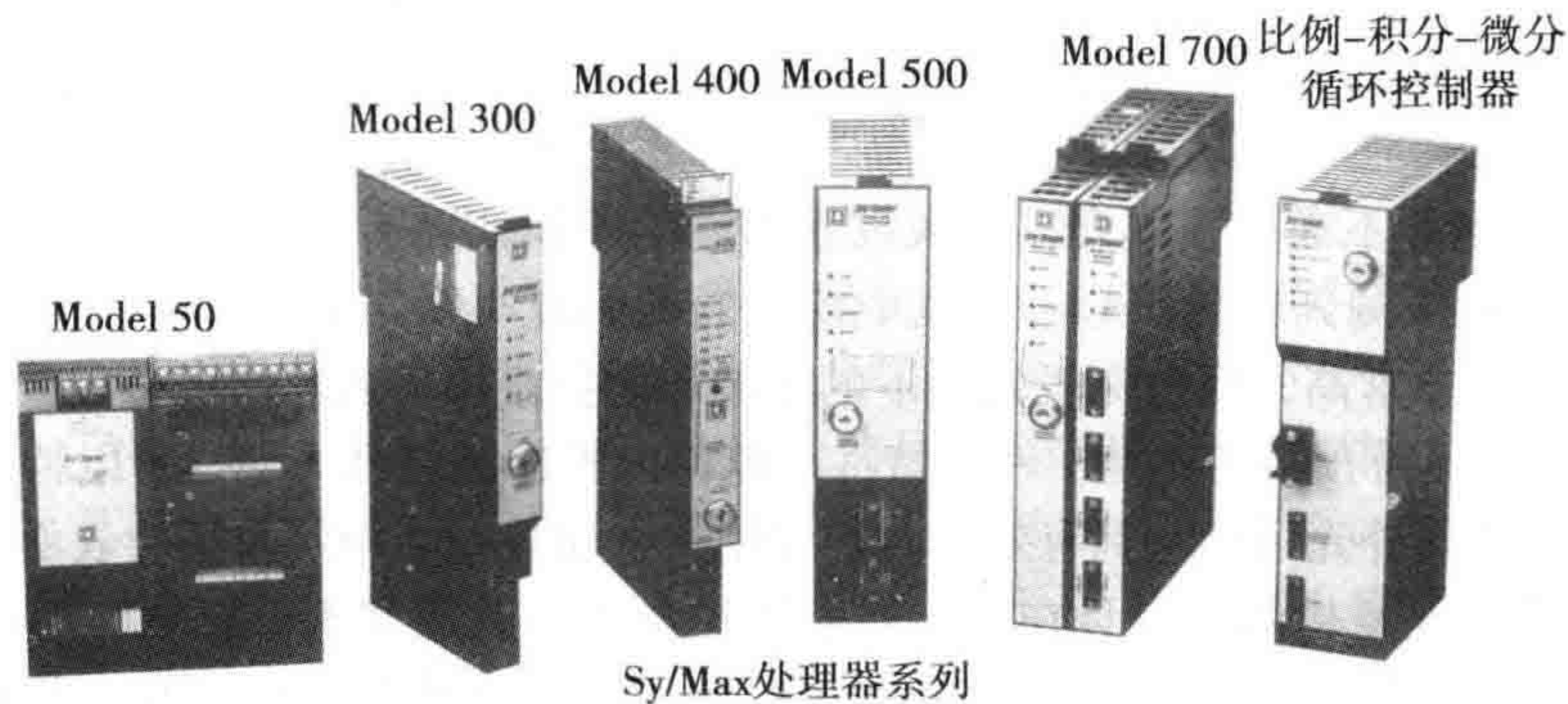


图 21-4 处理器系列（Square D 产品）

可编程序控制器可取代传统的控制装置（如继电器与固态逻辑）用于多种应用场合。与传统控制方式相比较，可编程序控制器安装简易，系统修改快速有效，具有更多的功能，可诊断排查故障，可靠性高。典型的应用包括自动物料运输、机床、装配机控制、木材造纸控制、注模机控制以及胶片、化学、食品、石油等过程控制。

21.7.1 系统硬件与编程设备

控制器系列由两组装置组成：系统硬件与编程设备。系统硬件用于控制实际操作，而编程设备用于向系统硬件输入用户的控制程序。一旦输入了程序，编程设备就可以用于监测、程序修改或信息显示，但对于系统运行来说并不需要编程设备（见图 21-5）。

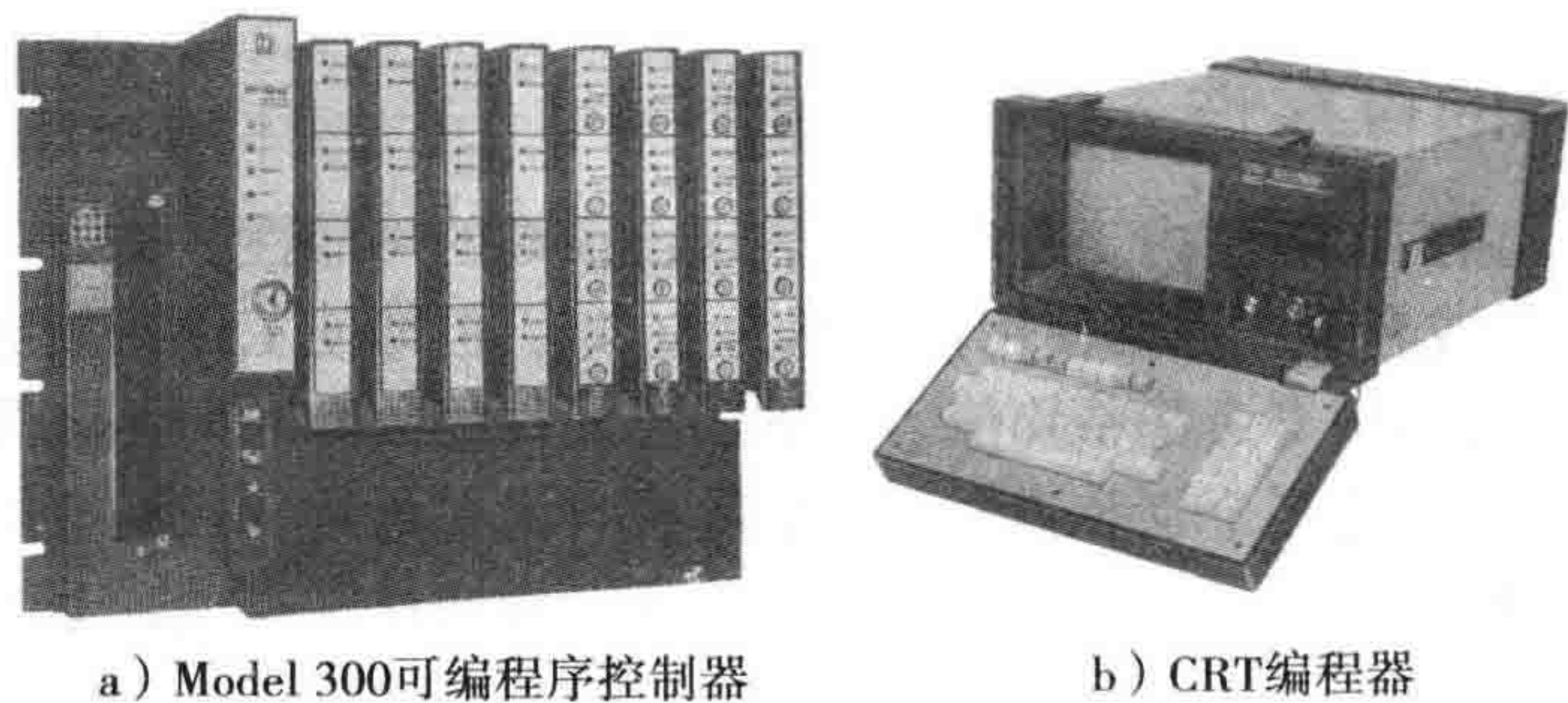


图 21-5 可编程控制器（Square D 产品）

系统硬件包括处理器、一个或多个支架配件、电源、输入 / 输出（I/O）模块以及其他能提供各种附加功能的模块。通过支架配件和相关的输入 / 输出模块与外部输入 / 输出控制装置（如限位开关、电动机起动器及其他设备）进行通信。



21.7.2 处理器

Sy/Max 系统有 5 种处理器可用。最小或者价格最低的处理器的型号是 Model 50，它除了自带手持编程器外，也可用 IBM 或兼容的个人计算机中的 Sy/Mate 软件编程。通过使用图 21-6 所示的控制站，可以微调控制器的参数。存储器为高达 4KB 的 EPROM，并具有带备用电池的 RAM 或 E<sup>2</sup>PROM，其 I/O 容量为 256。以 Model 300 处理器为例进行对比。Model 300 的 I/O 容量为 256，处理器有 128 个内部继电器以及 96 个用于定时、计数、同步移位和数据存储的四位寄存器。除了继电器逻辑、计数、定时以及数据操作外，该处理器还具有模块化的结构，便于安装与检修，具有四个数学函数、产生报警信息与报告的 ASCII 码输出，可通过两个通信端口与其他处理器进行对等网络通信等。

处理器升级到 Model 500，会得到其他的性能。Model 500 可执行平方根数学函数、扫描控制、子程序、定时中断以及矩阵运算。它也具有不同等级的安全防护，可预防通过两个通信端口越权存取数据与程序信息。Model 500 具有高达 8KB 的带备用电池的 RAM 或 RAM 与 EPROM 组合存储器，I/O 容量超过 2000。

另一种升级的处理器是 Model 400（见图 21-7），它几乎可处理任何应用程序。除了具有 Model 500 处理器的功能外，Model 400 的指令系统包括三角函数、超越函数及统计函数，还能以整数或浮点数（结果可达  $10^{\pm 38}$ ）形式实现这些函数的运算。其另一特点是有便携式电池支持的 RAM 存储器，以及支持从机架上移除处理器的实时时钟。Model 400 也可通过两个独立的通信接口读取 ASCII 数据，可直接与 ASCII 定秤、条形码扫描器以及其他应用的输入（如物料搬运）相连。Model 400 具有高达 16KB 字的 RAM 或 RAM 与 EPROM 的组合存储器，其 I/O 容量为 4000。记住，这些是第一代的电子控制装置，目前许多还在使用中。在互联网上可以查找这些设备厂商的网址，获得最新信息。



图 21-6 PID 循环控制站（Square D 产品）

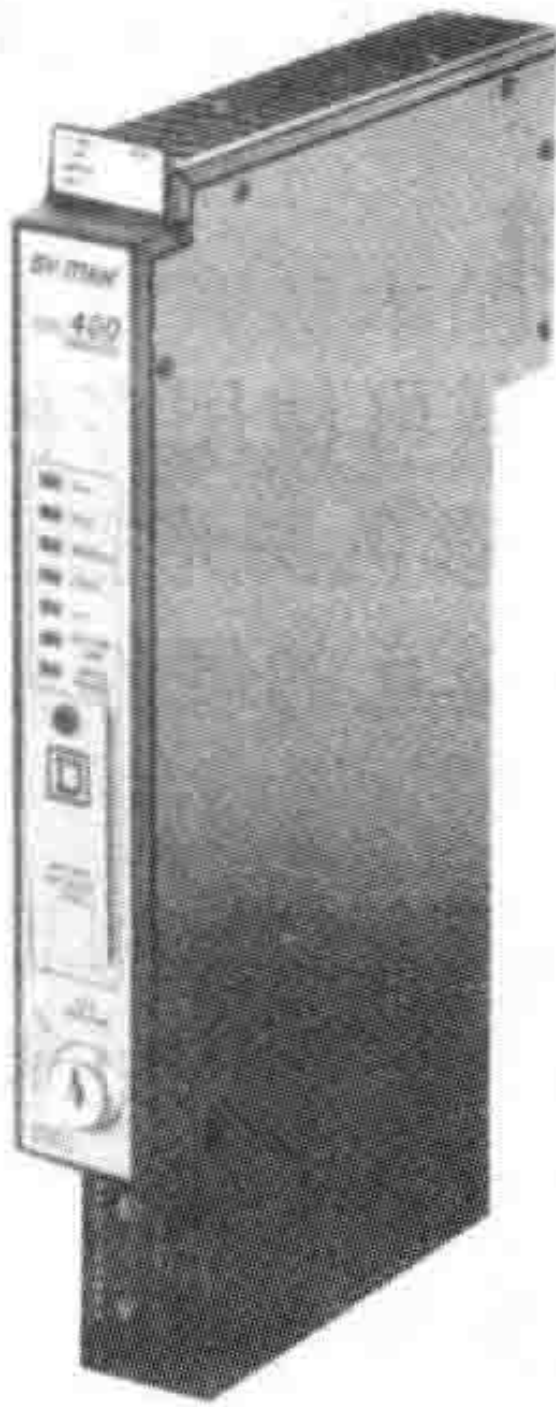


图 21-7 Model 400 处理器（Square D 产品）

21.7.3 输入 – 输出模块

I/O 模块可提供处理器与被转换或控制的现场设备间的接口。图 21-8 所示为 5 种 I/O 模块。标准的 4 功能模块包含了运行电压范围：从 TTL 电平到 240V 交流电 /250V 直流电。标准 I/O 在每一个点都有单独诊断 LED。输出熔断器可接到模块的侧面。高级的 4 功能模块是可互换的，并与标准 4 功能模块兼容。当与独立的 I/O 机架一同使用时，它是具有更大功率（每个输出为 5A）的两点模块，并且具有独立的主电路。4 功能、8 功能、16 功能与 32 功能模块可处理大多数生产过程。



光纤输入模块的设计中有用于相关电路（见图 21-9）的现场设备（开关）。光纤接口模块将可编程序控制器的所有不同通信方式（远程 I/O、编程等）转化为光通信。光纤通信可免受电磁干扰（EMI）与射频干扰（RFI），做到完全电气隔离。该装置真正安全，重量较轻，接线方便。电缆最长为 5mile，即 8km。此类通信系统可用于过程控制系统、石油化工厂、变电站以及户外 / 地下设施中。

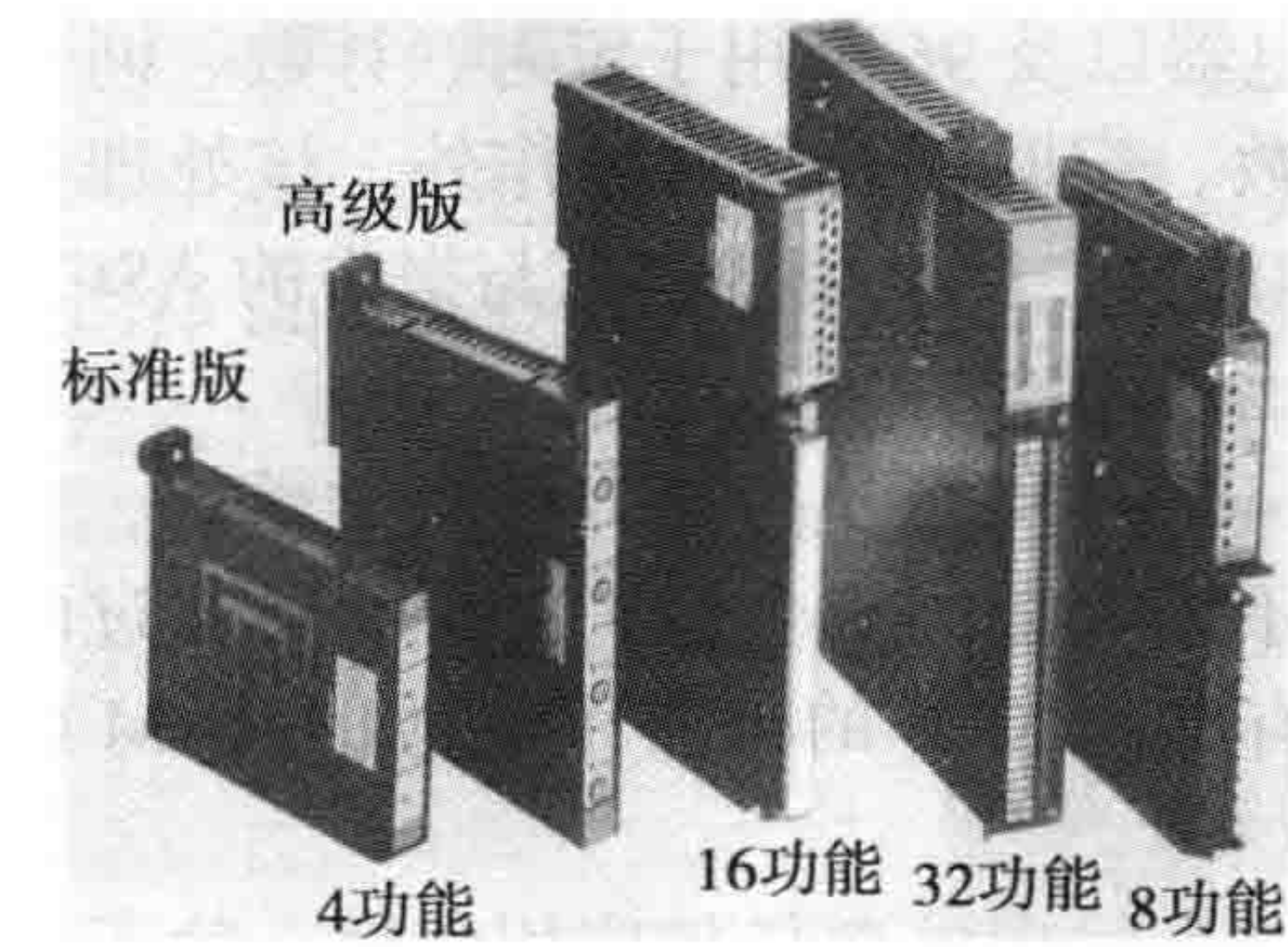


图 21-8 I/O 系统 (Square D 产品)

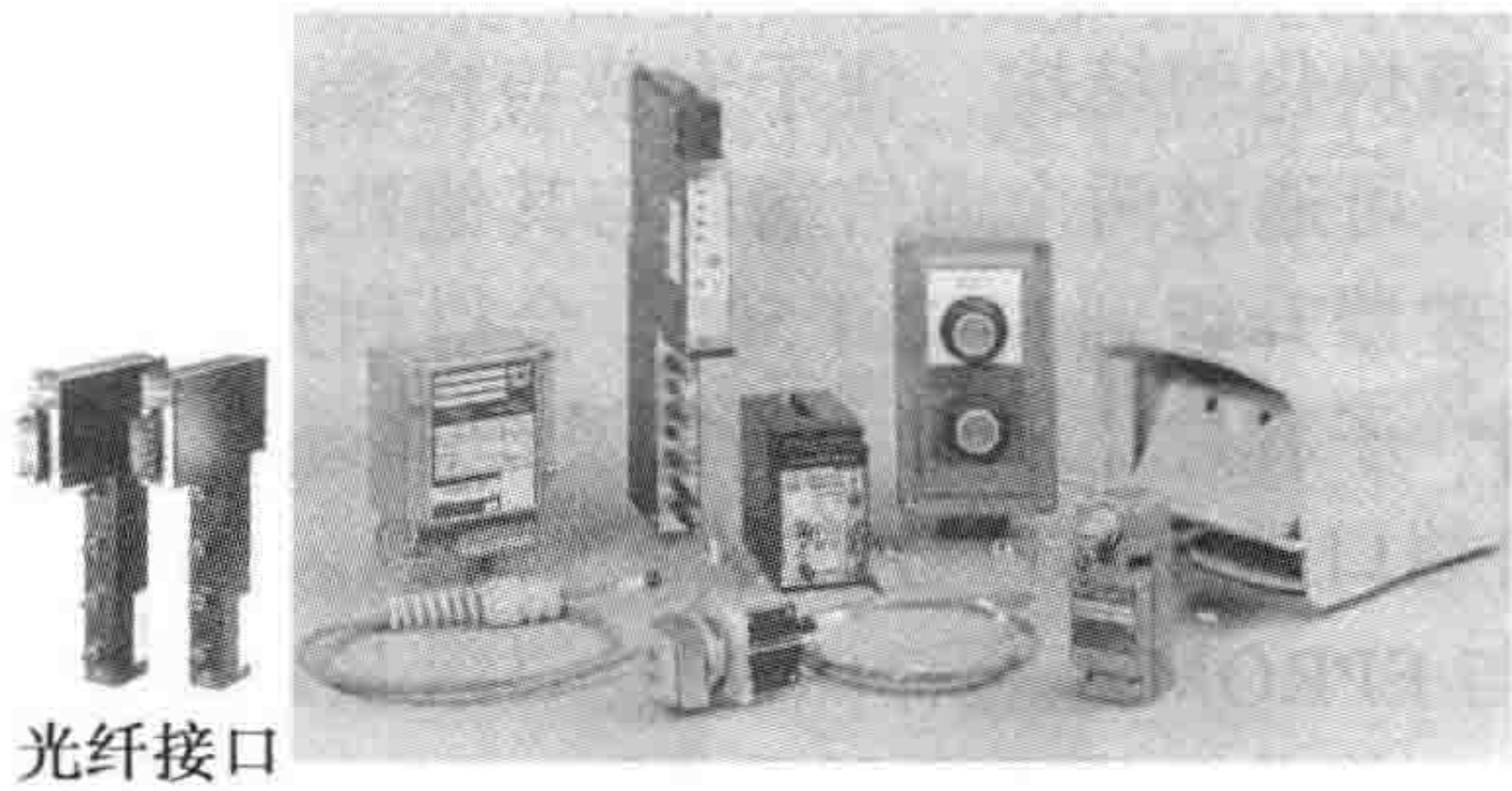


图 21-9 光纤接口与带现场设备的输入模块 (Square D 产品)

21.7.4 智能 I/O 模块

智能（寄存器）I/O 模块，如多路 BCD 以及模拟 I/O 和高速计数器输入、步进电动机输出以及语音输出模块，都可向可编程序控制器提供特殊功能。这些装置中的便携式微处理器可直接将信息转移并存储在处理器的数据寄存器中，工业用的微型计算机可生成生产报告，也可生成图形。

语音模块是集成语音 / 信息的信号源，可发出声音报警信号、操作指令或者发出补充或代替可视化的命令。语音模块与处理器、数据控制器或其他能产生 ASCII 码输出的设备兼容。

21.7.5 显示系统

可编程序控制器可使用多种显示系统，其中有几种不同类型的彩色图形显示器。与图 21-10 所示的计算机进行交互的硬件和软件系统都用到了彩色图形。

CRT 编程器携带方便，可监控、编程并详细记录之前提到的处理器所能处理的控制逻辑，如图 21-11 所示。大多数企业中已经使用了 LCD 纯平显示器，它占用的空间更小，产生的热量更少，消耗的能源也更少。

由于编程器有一套多功能软键盘，所以编程十分简单。另外，在许多情况下，如移位寄存器、定时器以及计数器等高级功能是使用简单的填空函数来完成编程的。一旦学会了方法，编程就变得相当容易。

离线编程允许在没有处理器的非工厂环境中对控制程序进行开发、编辑及记录，然后用磁带存储控制程序，并下载到工厂的处理器中，这样可减少系统开发的总时间。

I/O 设备会显示函数名称（达 12 个字母数字），以帮助维护人员与工厂的其他人员理解详细的控制程序，这也会增强利用 CRT 诊断控制系统故障的能力。每个 I/O 端子连同其地址具有高达 18 个字母数字的名称。另外，每个运行逻辑都有一整页的运行描述，见



图 21-10 Sy/Max 的编程器 (Square D 产品)



图 21-12 所示的程序。

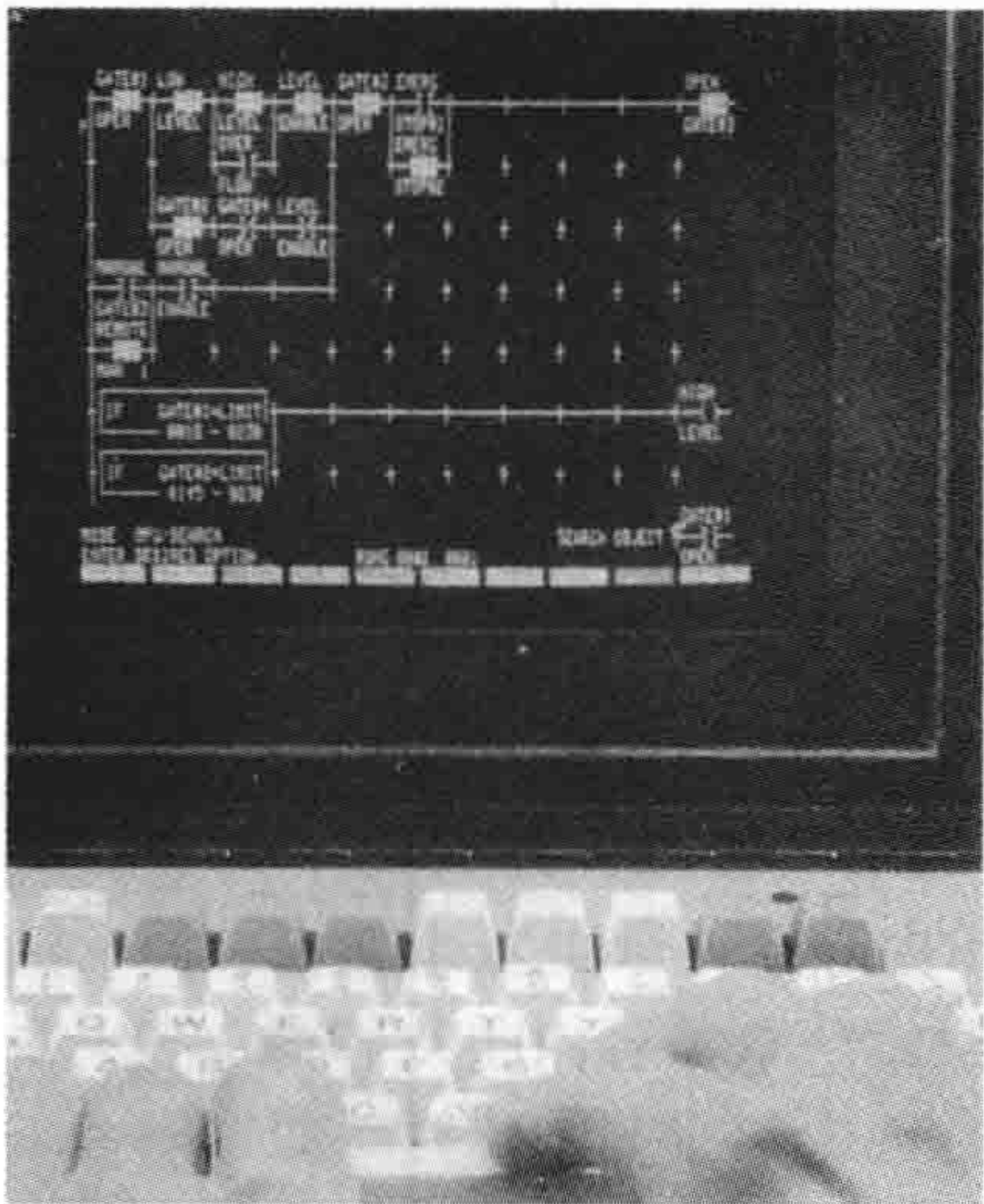


图 21-11 带函数名的 CRT 显示 (Square D 产品)

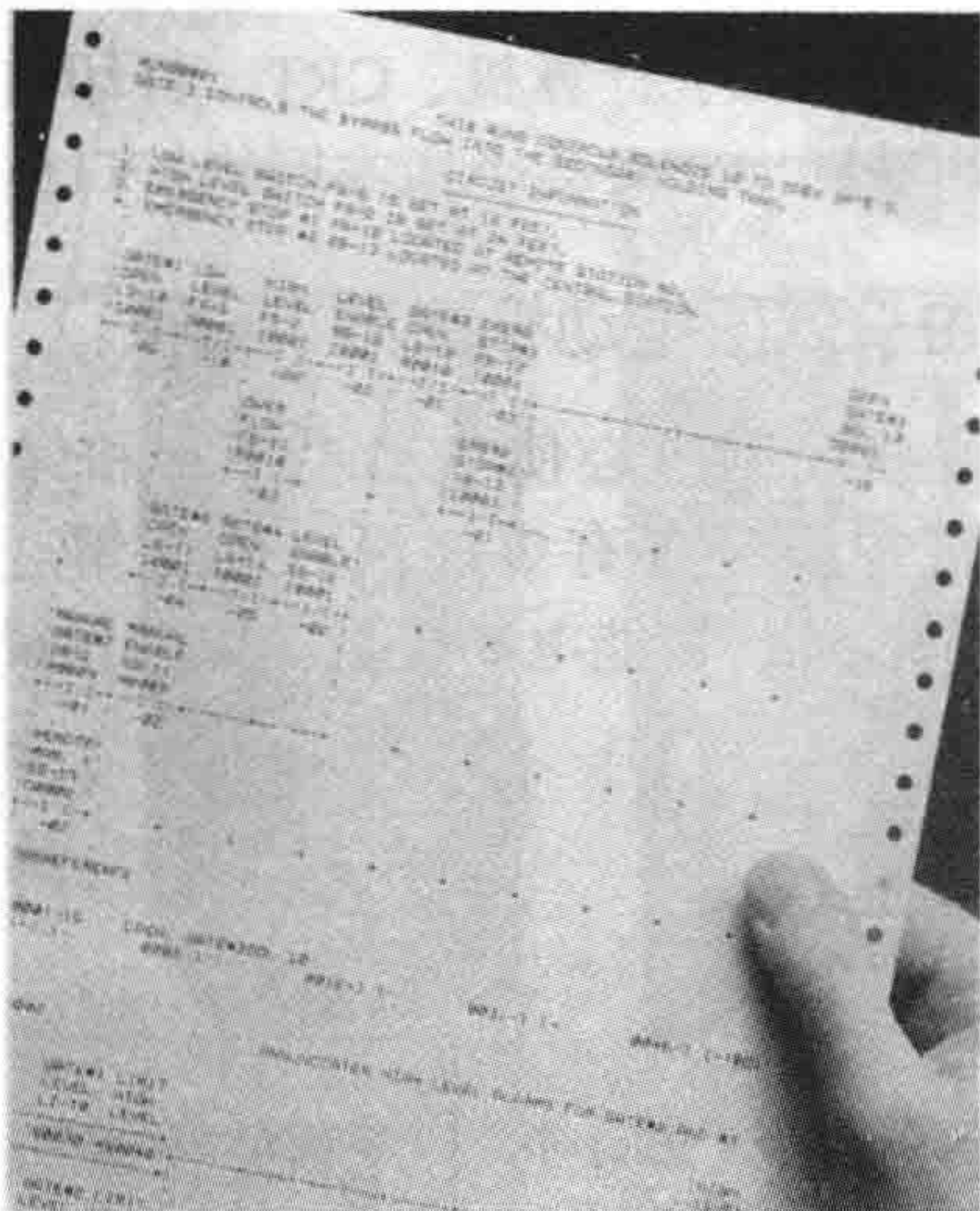


图 21-12 程序文档 (Square D 产品)

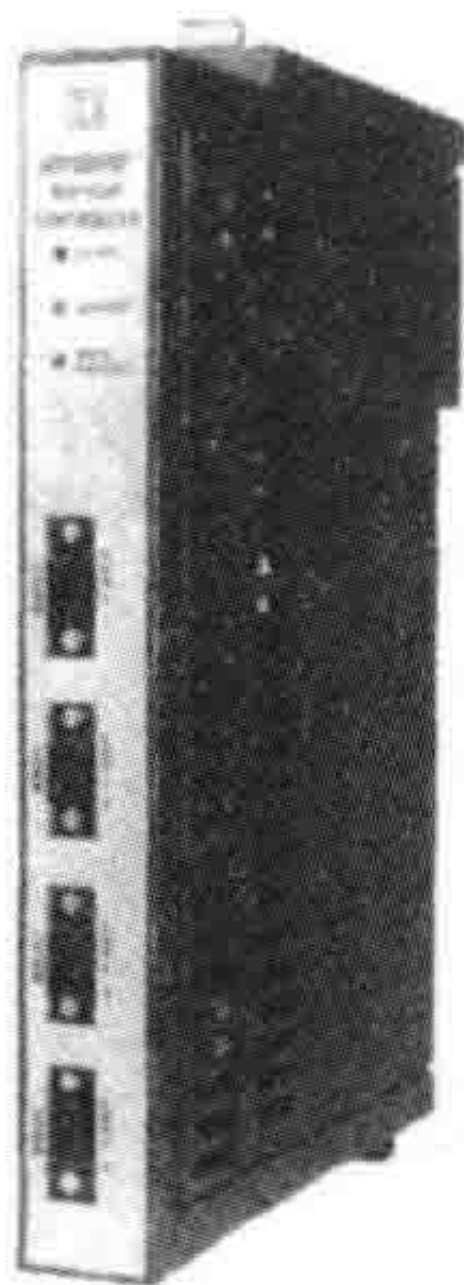
21.7.6 单元控制器

单元控制器的典型应用是协调与管理生产单元的运行，它由一组自动可编程机器控制器（可编程序控制器、机器人等）组成，协同工作并完成完整的生产或相关的作业。

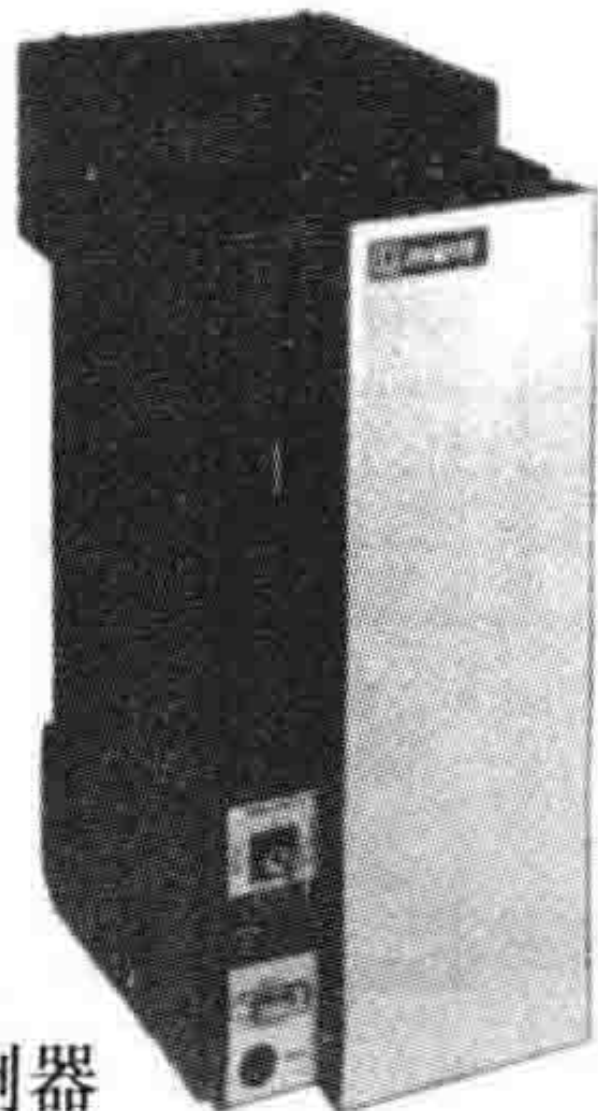
21.7.7 微型单元控制器

微型单元控制器是一种可编程、多功能的数据与程序存储设备，专为小型单元控制应用而设计（见图 21-13）。

小型单元控制器是单元控制器系列中的中端产品，它除了实现基本的控制功能外，还具有某些高级功能，如数据分析、趋势分析、统计过程控制、统计质量控制、彩色图形生成以及充当通信网关等（见图 21-14）。



SY/GATE  
微型单元控制器



SY/GATE  
小型单元控制器

图 21-13 微型单元控制器 (Square D 产品) 图 21-14 小型单元控制器 (Square D 产品)

21.7.8 局域网

将同一类可编程序控制器放在同一车间里的优点是：它们能够成为局域通信网络的一



部分（见图 21-15）。该通信网络由长达 10 000ft（1ft=0.304 8m）的双轴电缆与 100 个网络接口模块组成，有高达 200 个控制器与其他设备进行通信。每个网络接口模块都可连接两台装置（如 PLC、计算机、CRT、打印机等）。任何编程器或可接受类型的可编程工具包都可用在局域网中。有几个版本网络接口模块可用。

21.7.9 低压电动机控制中心

这些控制中心使电动机控制和保护装置结合了高级联网与诊断功能，从而让我们对电动机控制装置有更加深入的了解。图 21-16 所示为内置了这类技术的设备，如设备网（DeviceNet）、智能电动机控制以及预设置和测试网络。

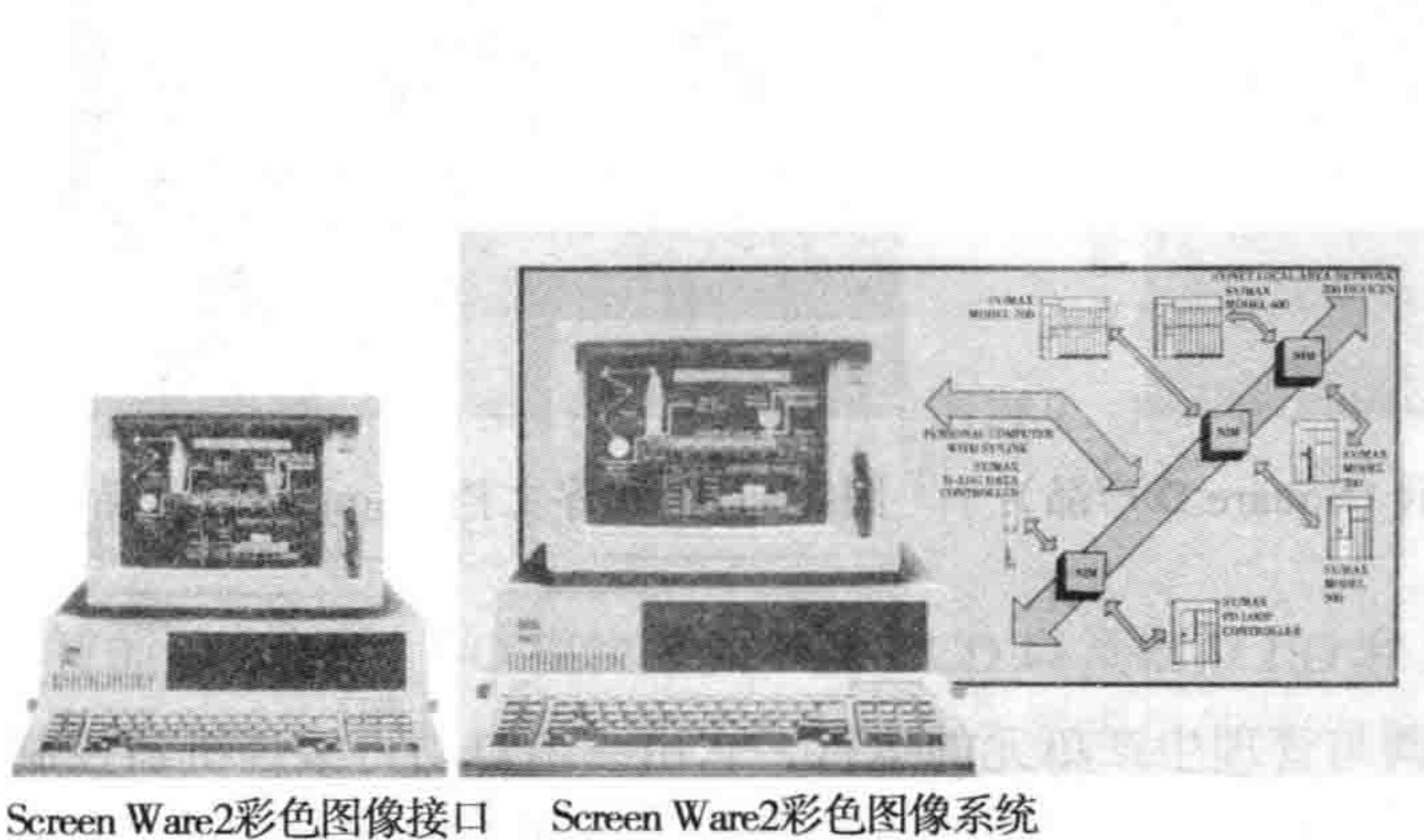


图 21-15 局域网（Square D 产品）

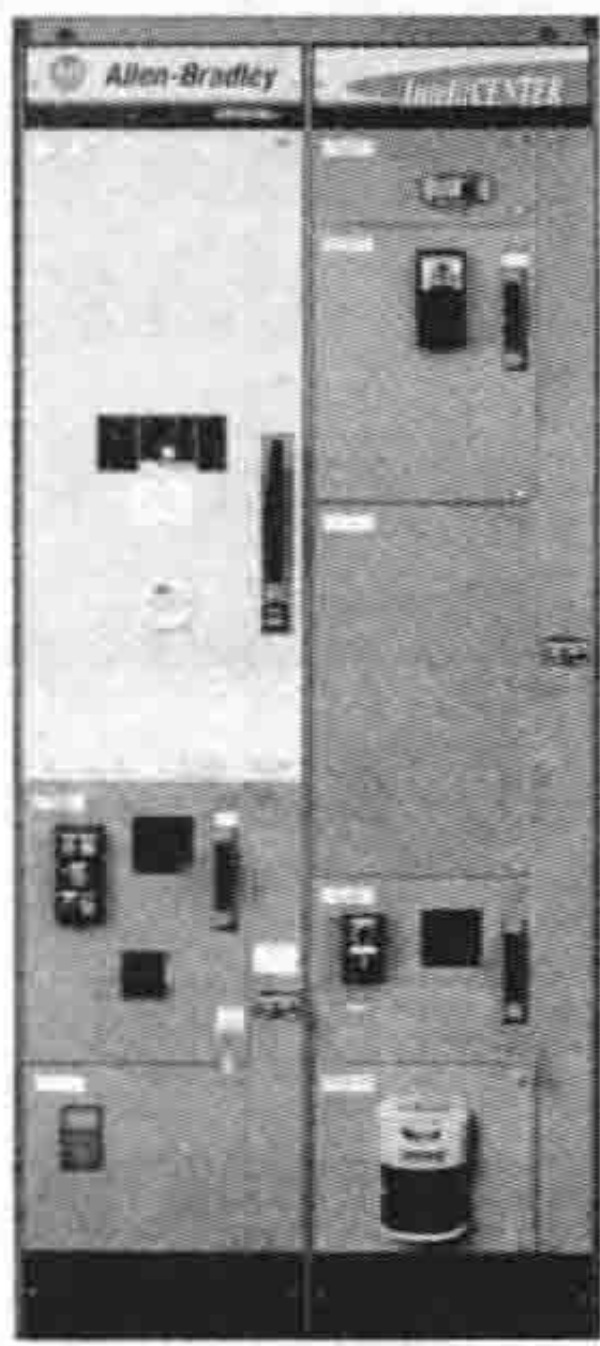


图 21-16 低压电动机控制中心（Allen-Bradley 产品）

图 21-17 所示为网络架构图。带 ArcShield 的电动机控制中心通过使用行业领先的弧光抑制设计，减小了电弧伤害的危险。该设计经过检验可以达到中压设备耐电弧标准。

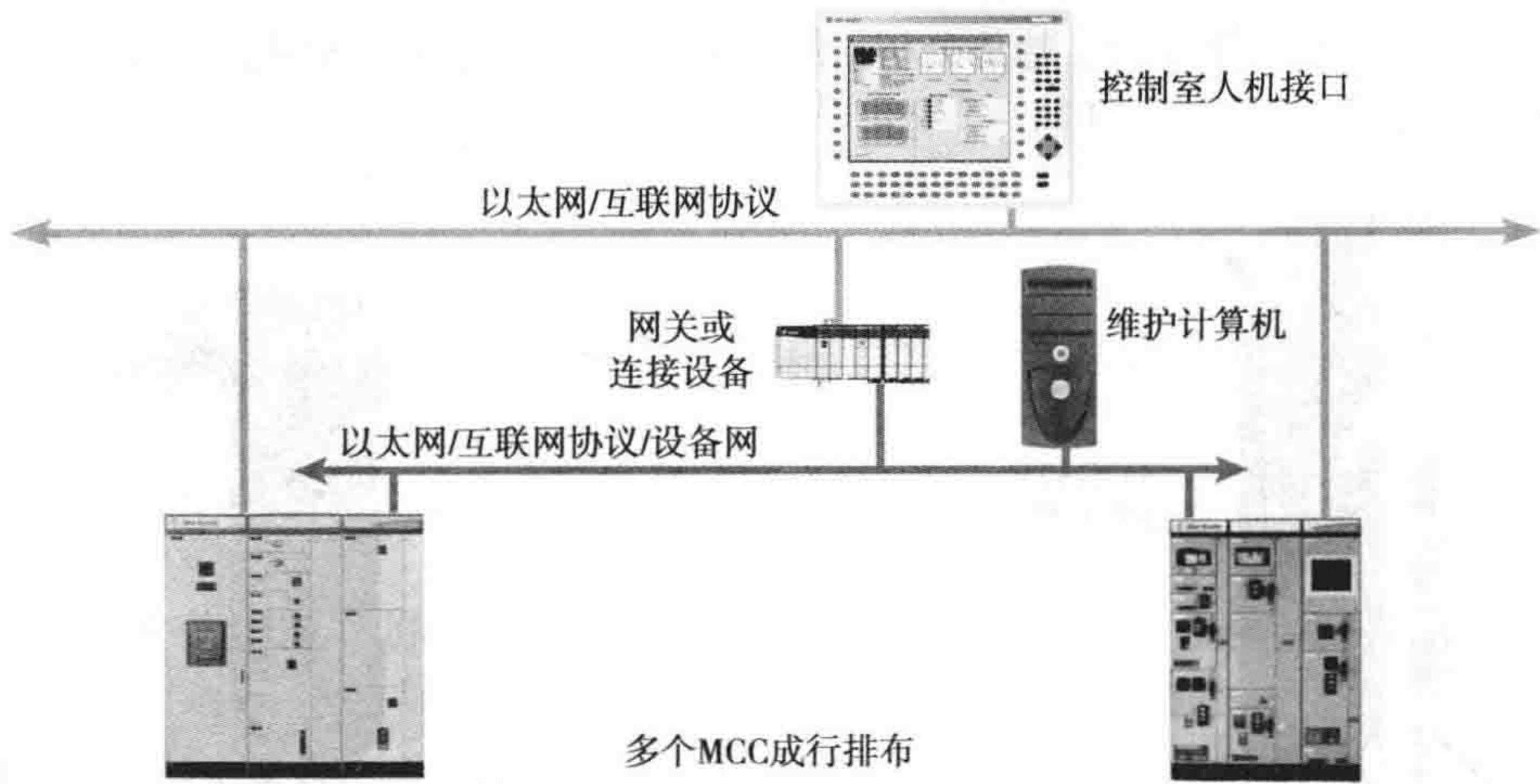


图 21-17 电动机控制中心的网络架构图（Allen-Bradley 产品）

抗电弧控制器可为需要较高个人保护水平的应用提供可靠的过程控制。这些装置都满足 IEEE 标准并可提供 2 型保护。电弧光出现时，控制器会安全地将其能量引导到装置顶端的外面，使其远离人员。当打开低压柜门维护时，也会提供这种保护方式。见图 21-18。



21.7.10 可编程序控制器的未来

可编程序控制器几乎可用在所有的新生产设备中，因此其发展前景很好。某些情况下，一些曾被认为只有机器人能做的工作现在由 PLC 即可实现。机器人费用昂贵、重新编程的能力有限。廉价的 PLC 将成为未来应用最广泛的装置。

每个厂商对自己的独有设备都有不同的培训计划。读者可能注意到，一章的内容不足以涵盖 PLC 的一切，需要通过一整本书的学习，以获得 PLC 更多的内容。

这里仅介绍了 PLC 系统中涉及的概念、理念以及装置。该系统可以成为更大制造单元的一部分。当然，任何电子设备都要不断升级与改进，保持信息更新是要花费些时间的，事实上这也是我们终生的任务。

电动机控制中所涉及的内容需要花费更多时间和精力来研究，这样才能了解电子装置的最新发展情况，在确保功能的情况下制定出降低成本、提高可靠性的最佳方案。

要理解 PLC 在计算机集成制造（CIM）中作为计算机控制生产设备是如何操作与实现功能的，就需要对数字电子技术的背景知识有较好的理解（见图 21-19）。

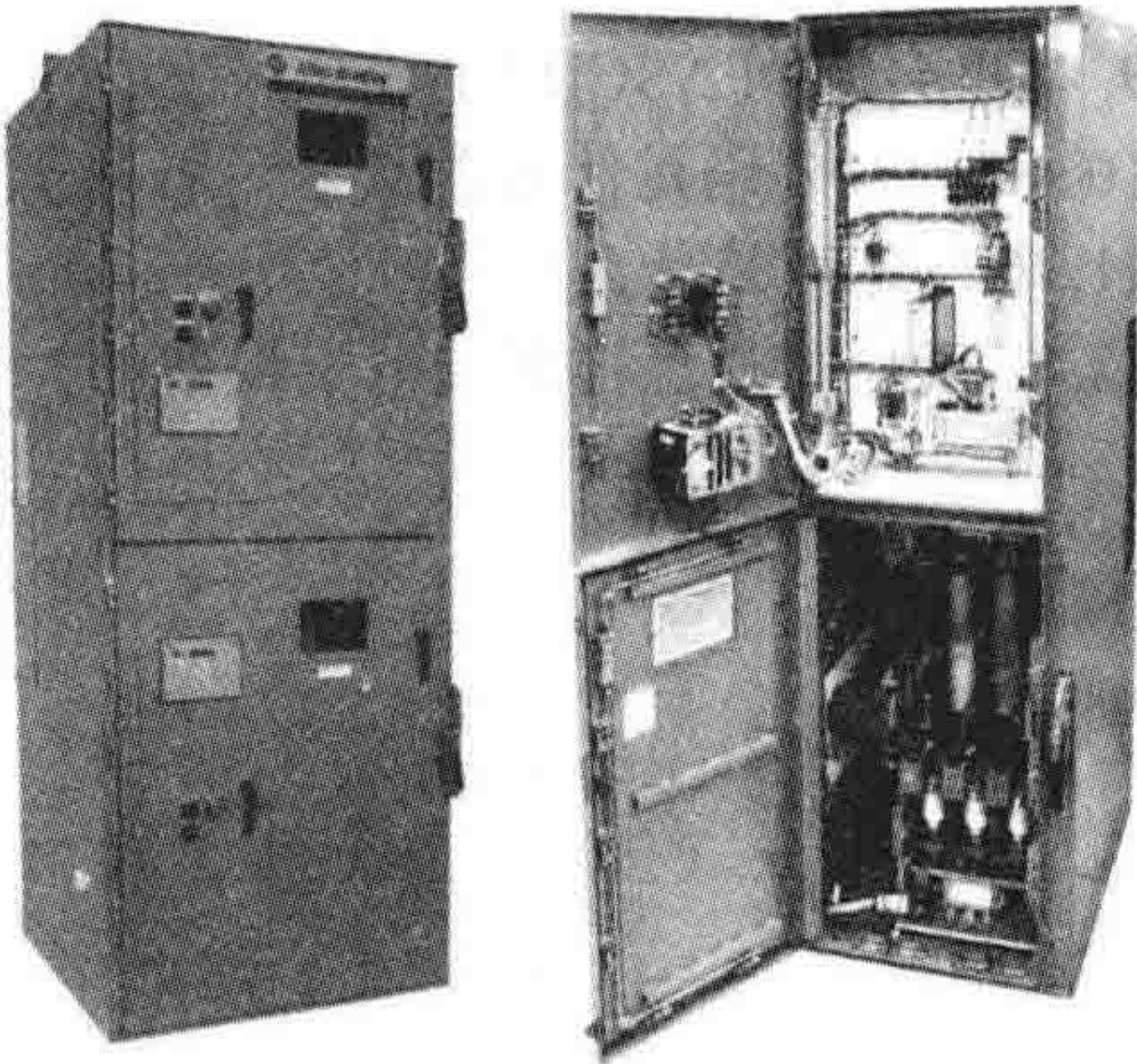


图 21-18 “中心线”电弧屏蔽器（Allen-Bradley 产品）

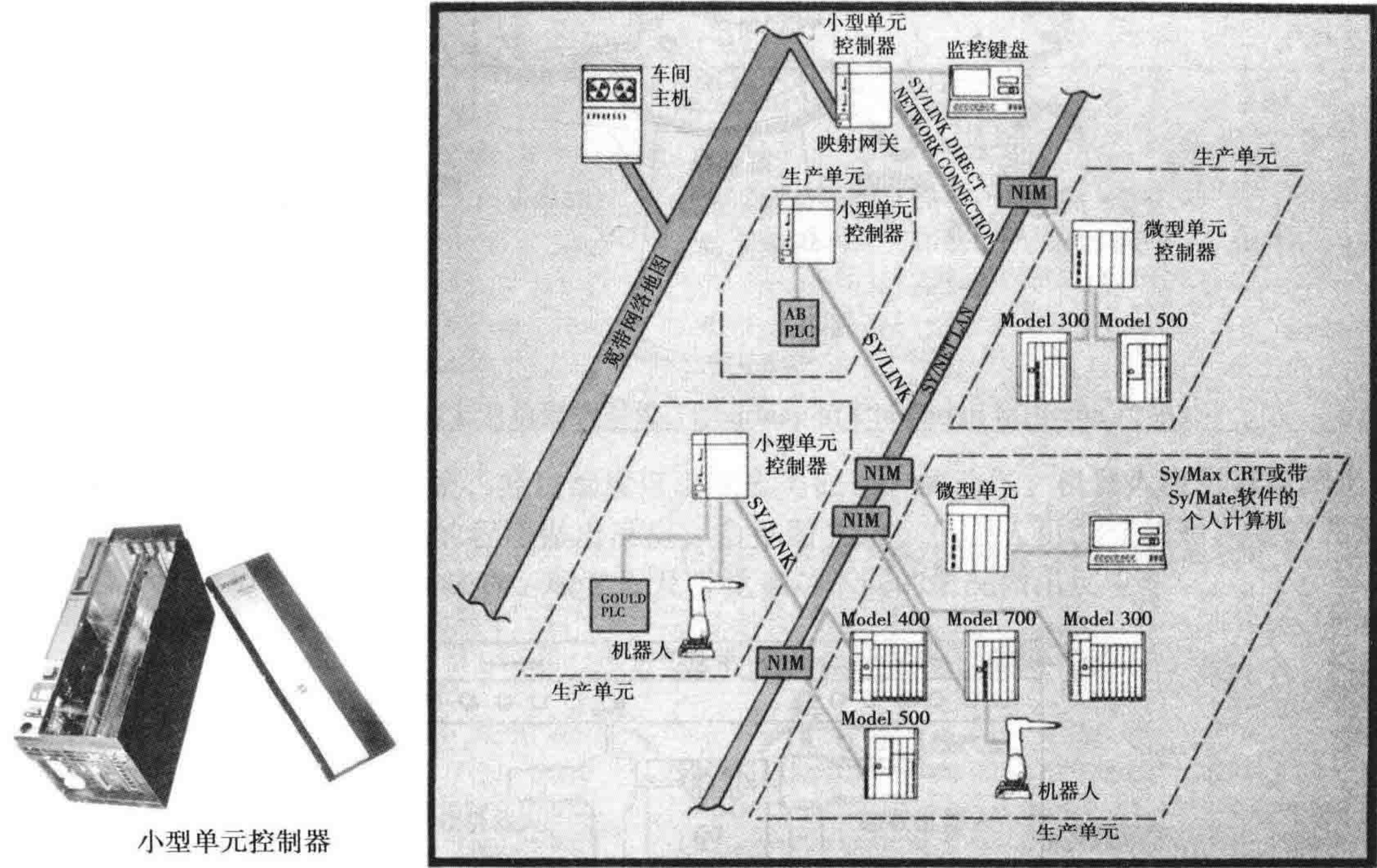


图 21-19 小型单元控制器（Square D 产品）

21.8 思考题

1. PC 表示什么含义？

2. PLC 代表什么含义？
3. 可编程序控制器由哪几部分组成？

4. I/O 表示什么含义？



5. 并行接口是什么?
6. 串行接口是什么?
7. 选通线路有何作用?
8. TTL 表示什么含义?
9. 哪里会用到 ASCII 码?
10. RS-232C 码是什么含义?
11. 电气噪声是什么?
12. 电气噪声是怎样影响电子设备的?
13. EMI 是什么?
14. 如何给 PC 编程?
15. CRT 是什么意思?
16. 单元控制器是什么?
17. 微型单元控制器与小型单元控制器有何区别?
18. 什么是用于检测问题的电子设备?
19. 电动机控制器的典型应用是什么?
20. 固定频率的电源输入如何变成变频输出?



第 22 章

机器人与机器人学

机器人可定义为是一种可编程的、多功能的操纵器，它可做出多种程序化动作以完成各类任务，如移动物料、部件、工具或专业设备，计算机是机器人的大脑。

机器人是近些年才发展起来的，1921 年卡尔·卡佩克在他的《R.U.R》一书以及同名戏剧中，首次使用单词 Robota，后来这个单词变成了英语中的 robot。什么是机器人？给出问题答案时需要考虑几个问题，参见图 22-1。

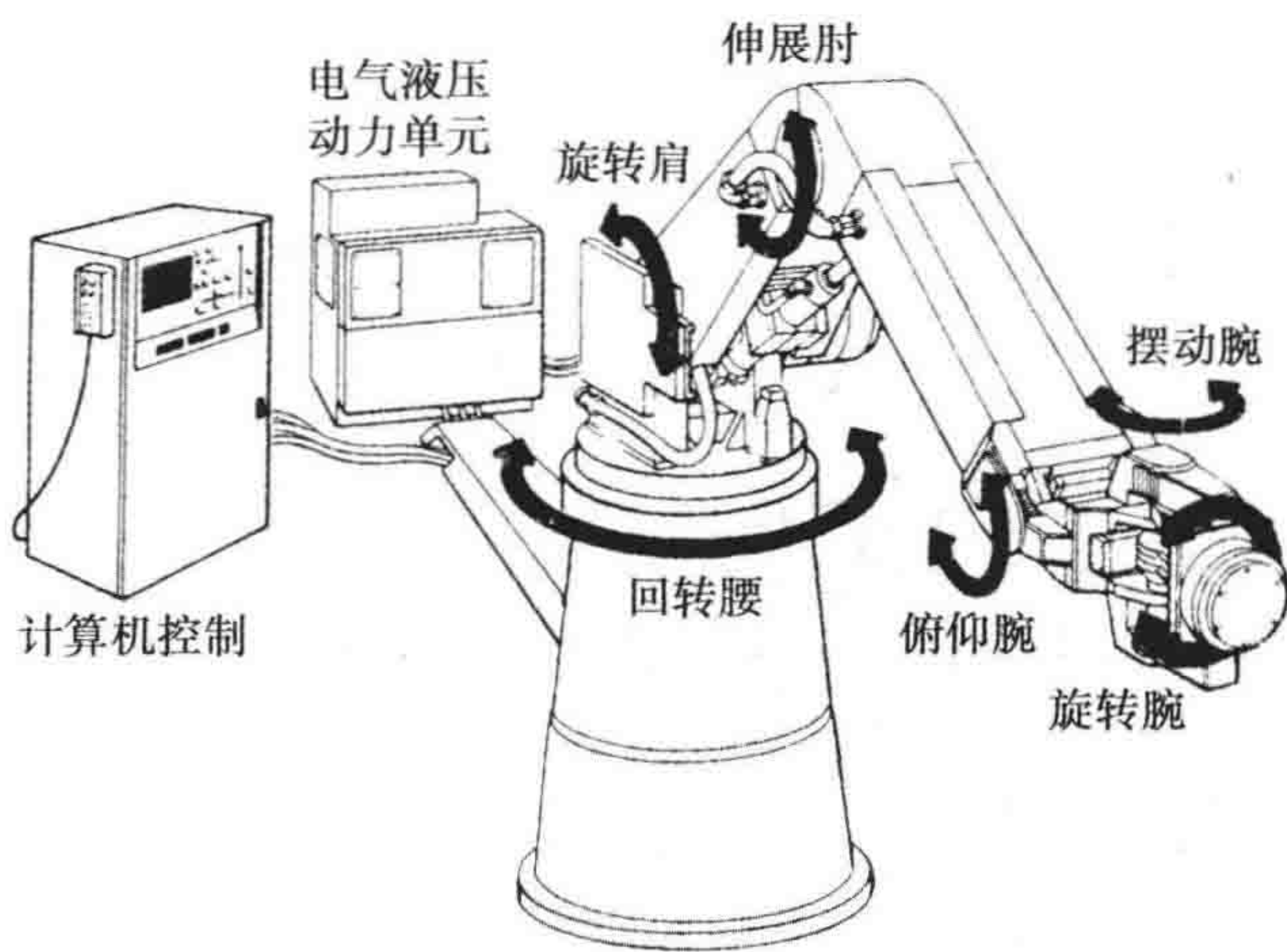


图 22-1 完整的工业机器人系统 (Courtesy of Cincinnati Milicron 产品)

机器人是一种装置或系统，经过编程可以完成类似于人的动作。机器人也可以检测出不同的环境，并根据预先编写的程序做出反应，参见图 22-2。机器人可能会按照人类的五官：触觉（感觉）、视觉（看见）、味觉、嗅觉以及听觉来对不同的情况做出反应。

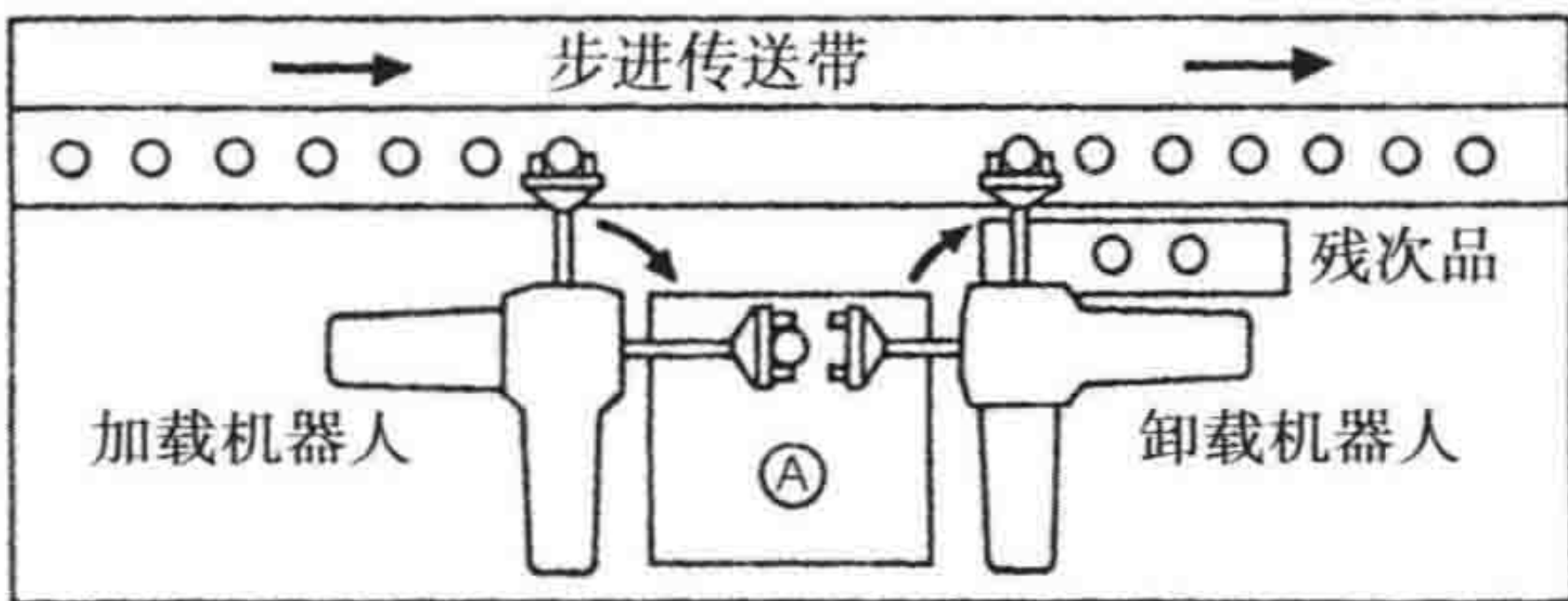


图 22-2 带微处理器与示教器的加载与卸载机器人 (Shrader-Bellows 产品)

22.1 机器人系统

机器人系统可独立运行，无须人工监督。机器人通过比较传感器接收到的信息，按照预



先编制的方式做出决策。与人类不同，机器人轻易不会感到疲倦。传感器可分为：电磁型、光敏型、热敏型以及压敏型。

## 22.2 机器人的历史

20 世纪 50 年代，机器人成为了现实。机器人的产生与发展和计算机的发展紧密相关，控制机器人要用到特殊的程序，而这些程序是使用特定的编程语言编写的，用于特定的任务中。许多种编程语言可用于机器人控制。如图 22-3 所示，微处理器相当于机器人的大脑，可获得检测信号，使机器人按预先编制的方式做出反应。微处理器是一种由硅芯片制成的电子装置。机器人可以每周七天不间断工作，见图 22-4。机器人能够代替人类更高效地完成任务，但其价格昂贵，需要有经高级培训的技术人员保证其运行。机器人可以代替人类，但为了保证其正常运行需要有技术高超的工作人员。机器人依赖于工业产品质量的提升，它们既有优点，也有缺点。在做出决定是否购买机器人代替人力之前，要衡量其优点与缺点。机器人的优点：可以很快地被重新训练，也很灵活，可以最小程度地重新编程或重新训练，做更多的事。机器人的主要缺点在于故障时间较长，若其发生故障，可能拖慢工厂的整个生产计划。若厂商可以承受机器人的初始成本、安装与调试成本，在一些工业应用场合下可以使机器人对这些厂商的作用更大。机器人由几个系统组成。



图 22-3 机器人的几个组成部分

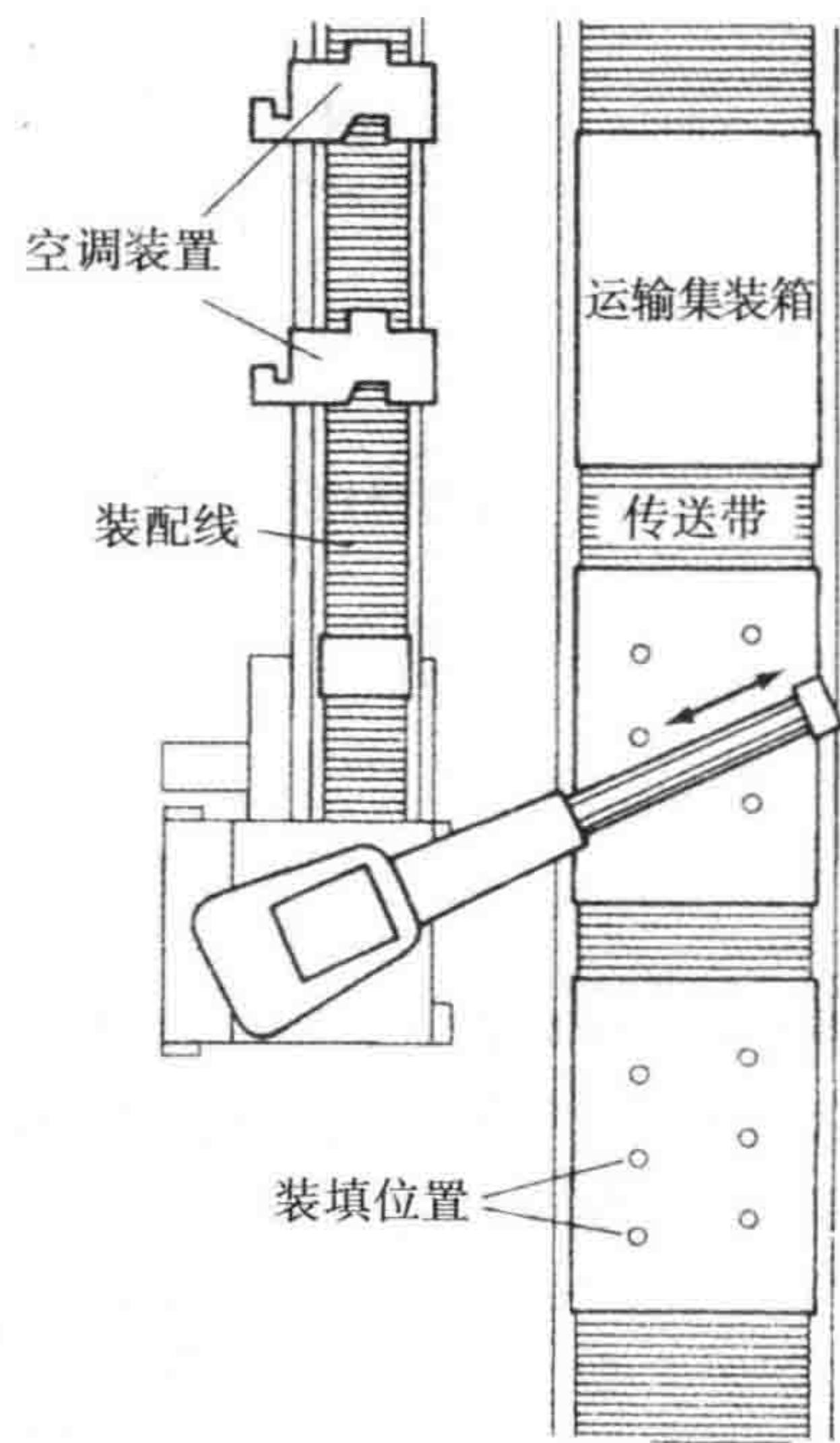


图 22-4 将空调装置装进集装箱的机器人 (Malcolm Robotics 产品)

## 22.3 机器人分类

机器人可以按几种方式来分类。本书是根据机器人的应用目的来分类的。工业机器人的手臂带有夹持器，夹持器就像人类手指的末端，可以夹持或挑拣出多种物体。如图 22-5 所示。

### 22.3.1 探索者机器人

探索者机器人用于探测太空、探索洞穴、探测水下，以及探索人类无法到达的地方。大



多数业余爱好者研制的机器人都是可移动的，它们仍然处于试验阶段，也是服务于家庭的仿人类机器人的一部分。

22.3.2 课堂机器人

如今课堂机器人的应用很有限，然而在世界范围内随着技术的发展，不远的将来课堂机器人将会有显著的发展。

22.3.3 娱乐机器人

娱乐机器人在影视界刚刚开始发展，但在影视作品中已经带给人快乐了。现在的书店都以最新的机器人与飞行器为特色，飞行器带有摄像机，可以向计算机发送图片，使其担当巡回广告的角色。在电影中，机器人会做一些人类不会做的令人惊异的事情。机器人也会从建筑物中移除炸弹，在起火的建筑中搜救人类。只要人类去想象，就能发明相关的机器人应用。

操纵器是机器人的基本部件之一，另外两个部件是控制器与电源。操纵器为四轴系统，用于描述机械臂的移动。

机器人的底座是它的定位点，它可以是固定的，也可以是移动的。大多工业机器人都会使用某种类型的机械臂，机械臂可以做成人类手臂的形状，也可以是滑进/滑出型的，用于抓取物体并将其带到机器人附近，如图 22-6 所示。腕关节连接到摇杆上，可以做出多种动作，腕关节的末端装有夹持器，用来夹取将要操作的物体（见图 22-7）。操纵器事实上是肩部、手臂、腕部以及手的组合，夹持器代表手，见图 22-8。

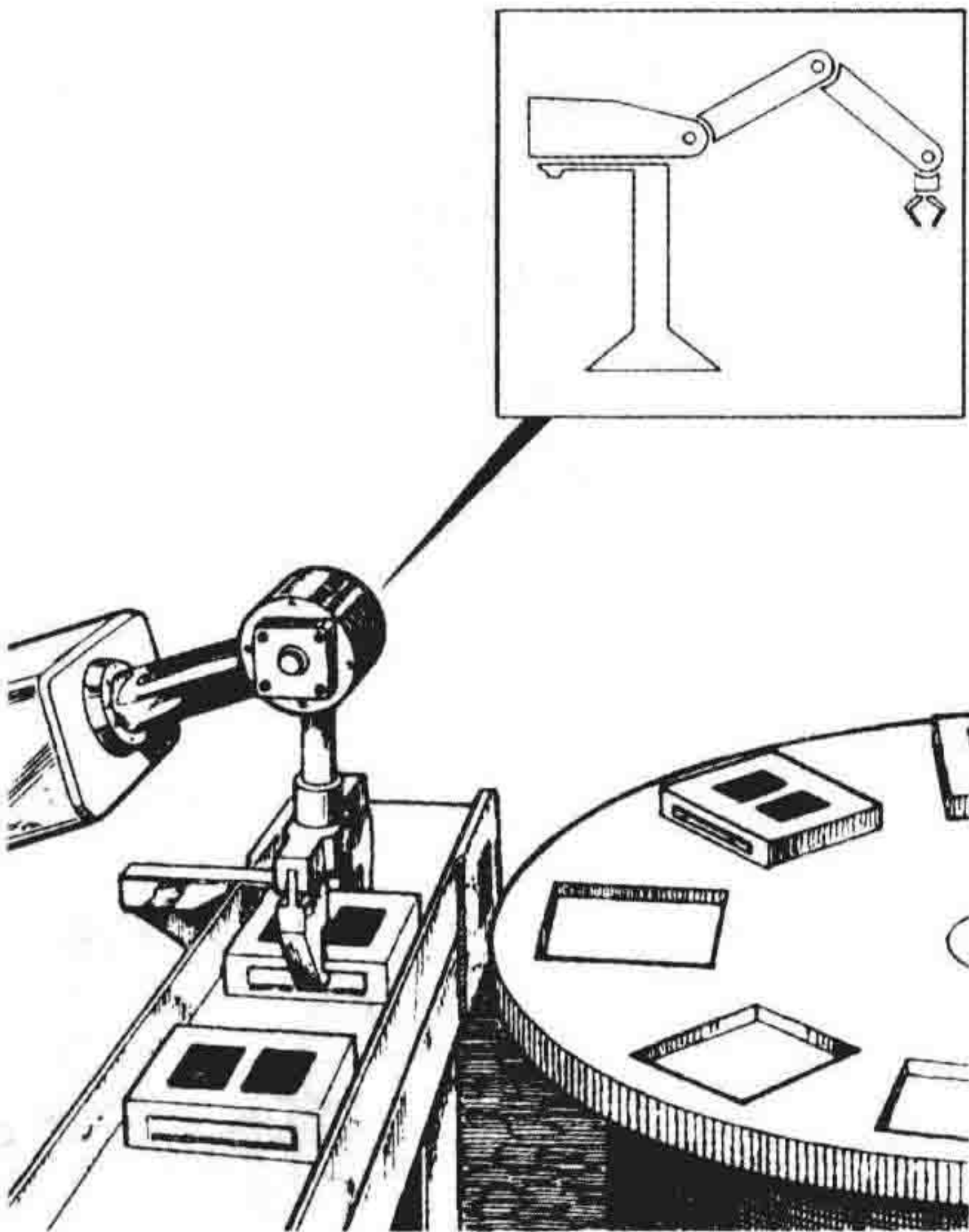


图 22-5 用于拾取与放置的工业机器人

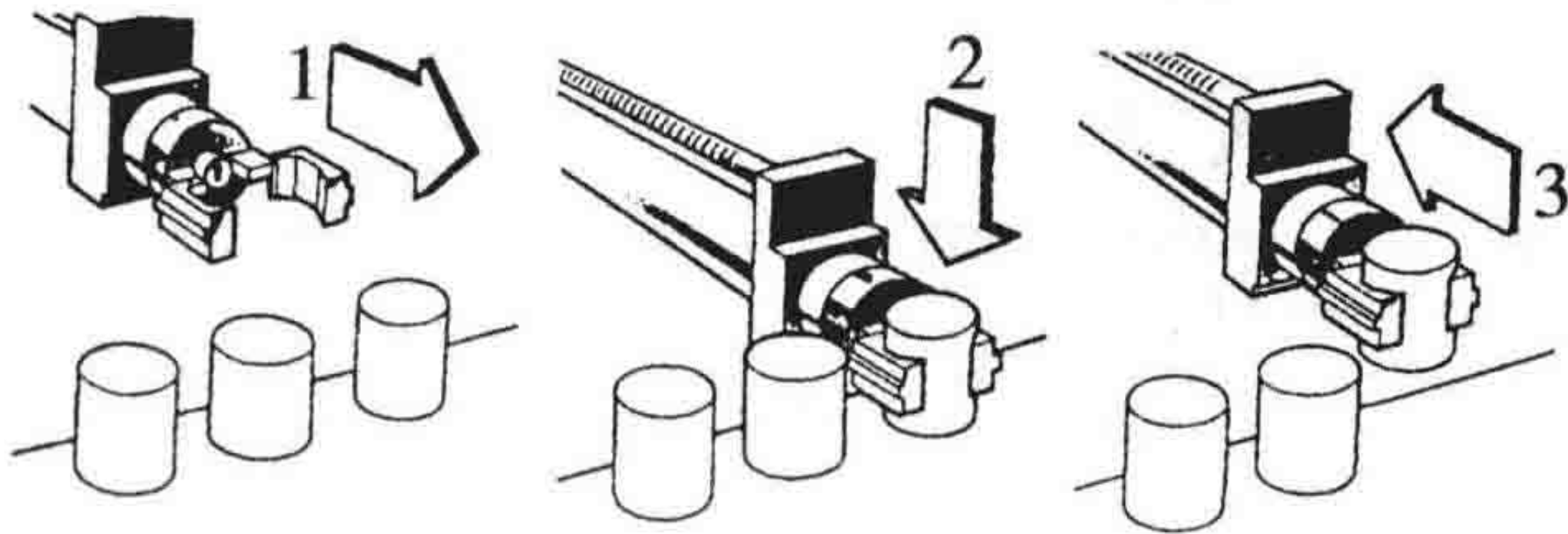


图 22-6 带夹持器的机器人臂（操纵器），可探测并获取流水线上的物体，并带回放置在其他地方（Cincinnati Milicron 产品）

22.4 作业区域

作业区域也称为机器人的影响范围或工作区域，见图 22-9。其运动包括：（1）伸出与收回机械臂，（2）摆动或旋转机械臂，（3）升降机械臂。若机器人可以分别以 3 种方式移动腕部和手臂，则机器人就具有 6 个自由度，而人类具有 42 个自由度。

22.5 机器人的运动能力

机器人的 4 种基本运动能力包括：线性运动、旋转运动、扭转运动以及伸展运动。这 4 种运动是 LERT 分类系统的基础。



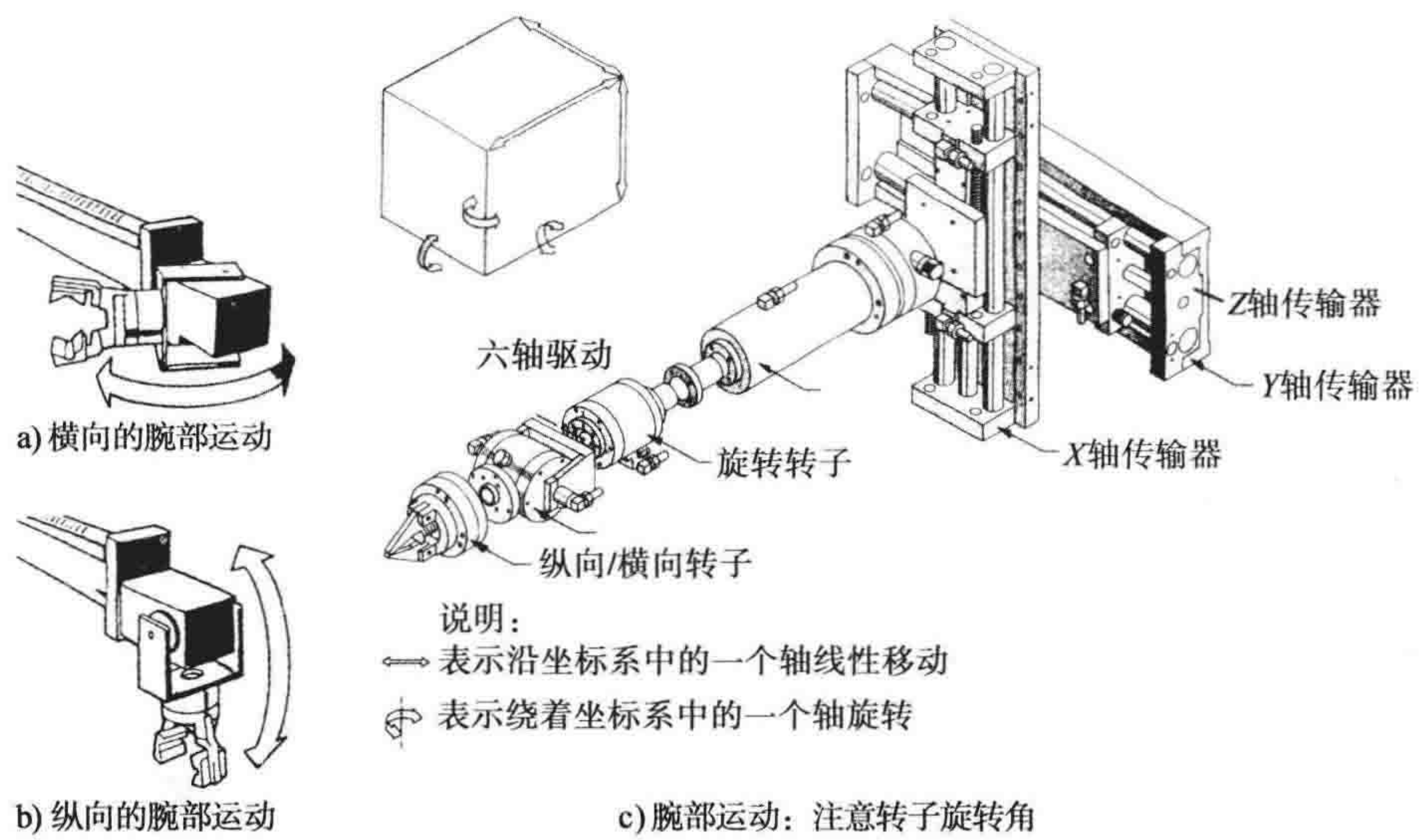


图 22-7 机器人的运动

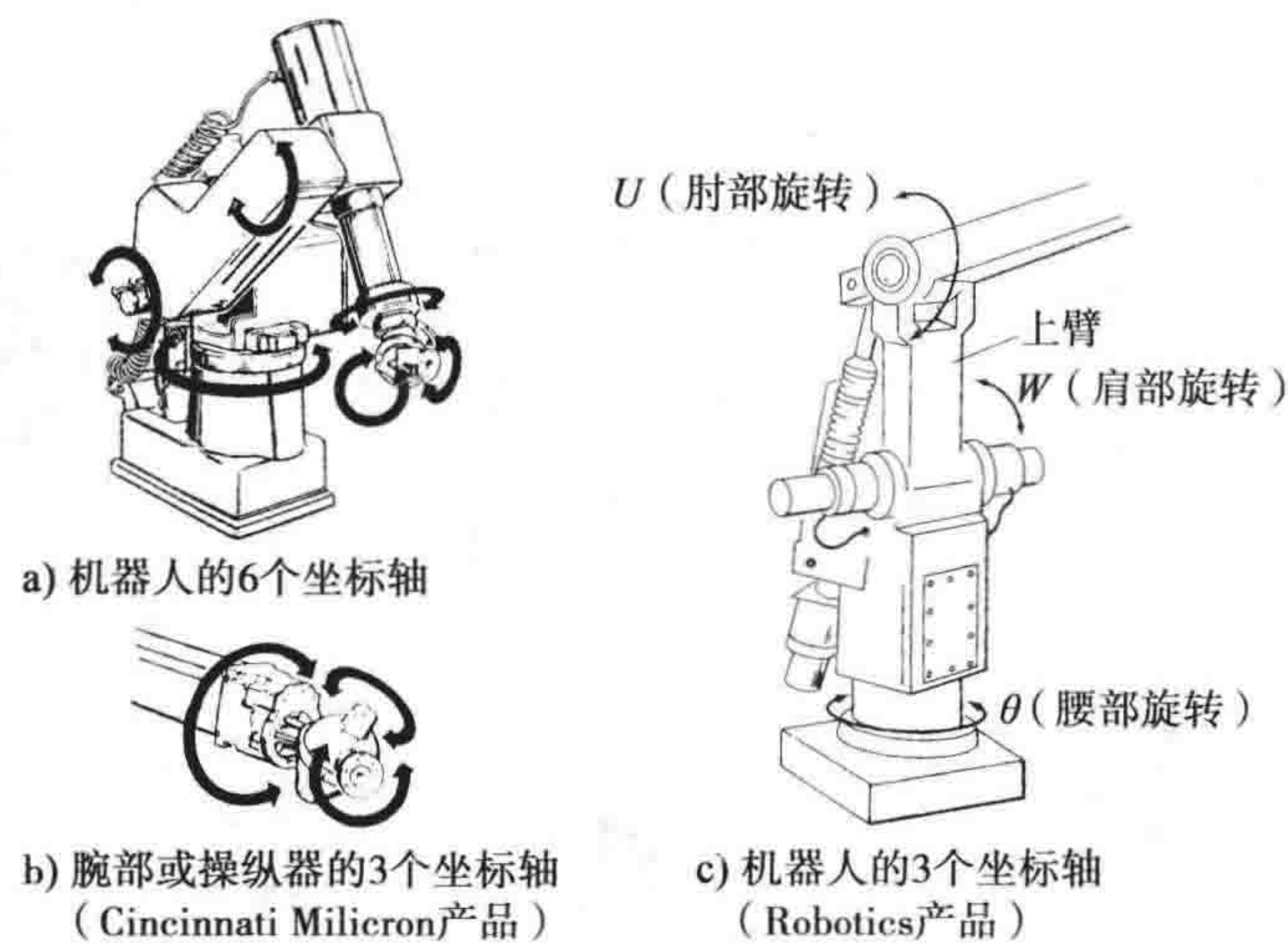


图 22-8 机器人的组件

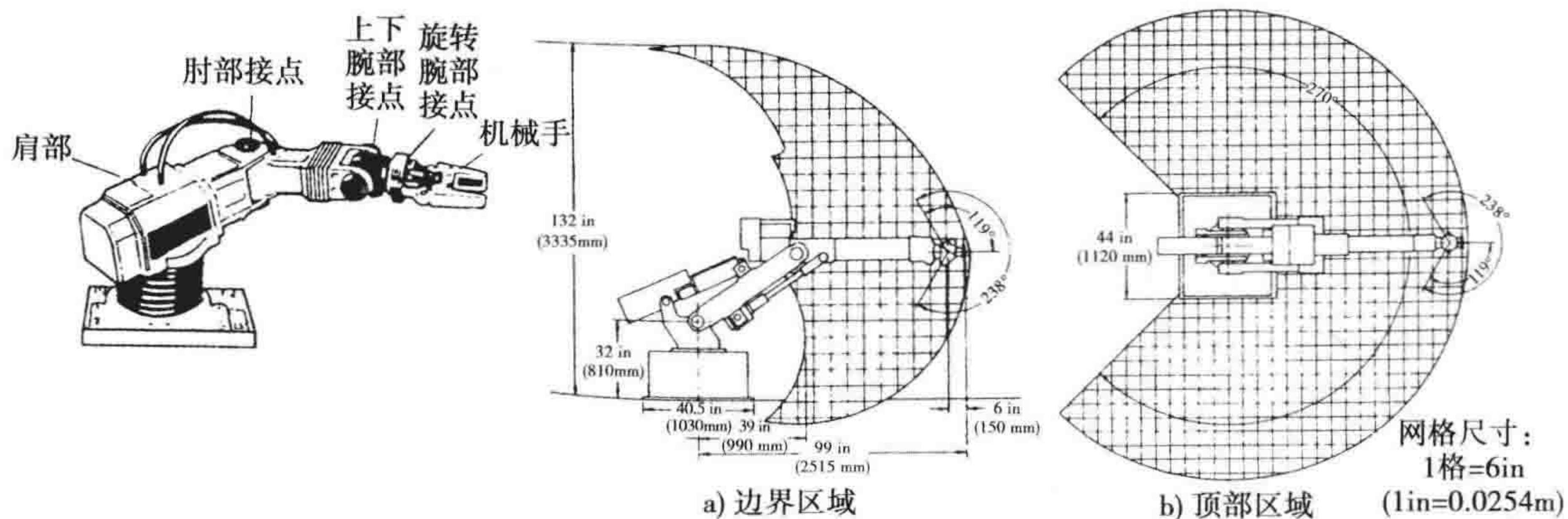


图 22-9 机器人的作业区域

(A) 用于捡取与放置物品的工业机器人的部分工业区域 (Radio shack产品) (B) 水滴型作业区域



- L——线性运动
- E——伸展运动
- R——旋转运动
- T——扭转运动

记住，大多数机器人都是安装在地面上的，然而也可能安装在天花板或移动的平台。按照机器人安装的第一组件或基座的顺序，列举出所有轴线。例如， $L^3$  表示有 3 种线性运动。若是  $R^2L^3$ ，将有两种旋转运动、三种线性运动。

22.6 四类机械臂系统

机械臂的几何结构关系到机器人手臂的运动。机器人的轴线运动分为 4 个坐标系（见图 22-10）：

- 关节坐标系
- 笛卡尔坐标系
- 柱坐标系
- 极坐标系

每种坐标系都在其作业区域的空间内描述机械臂的运动。机械臂利用  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  平面来达到目标（见图 22-11a、b）。然而，在机器人的操作中也要考虑  $\theta$  轴， $\beta$  轴， $W$  轴以及  $U$  轴。

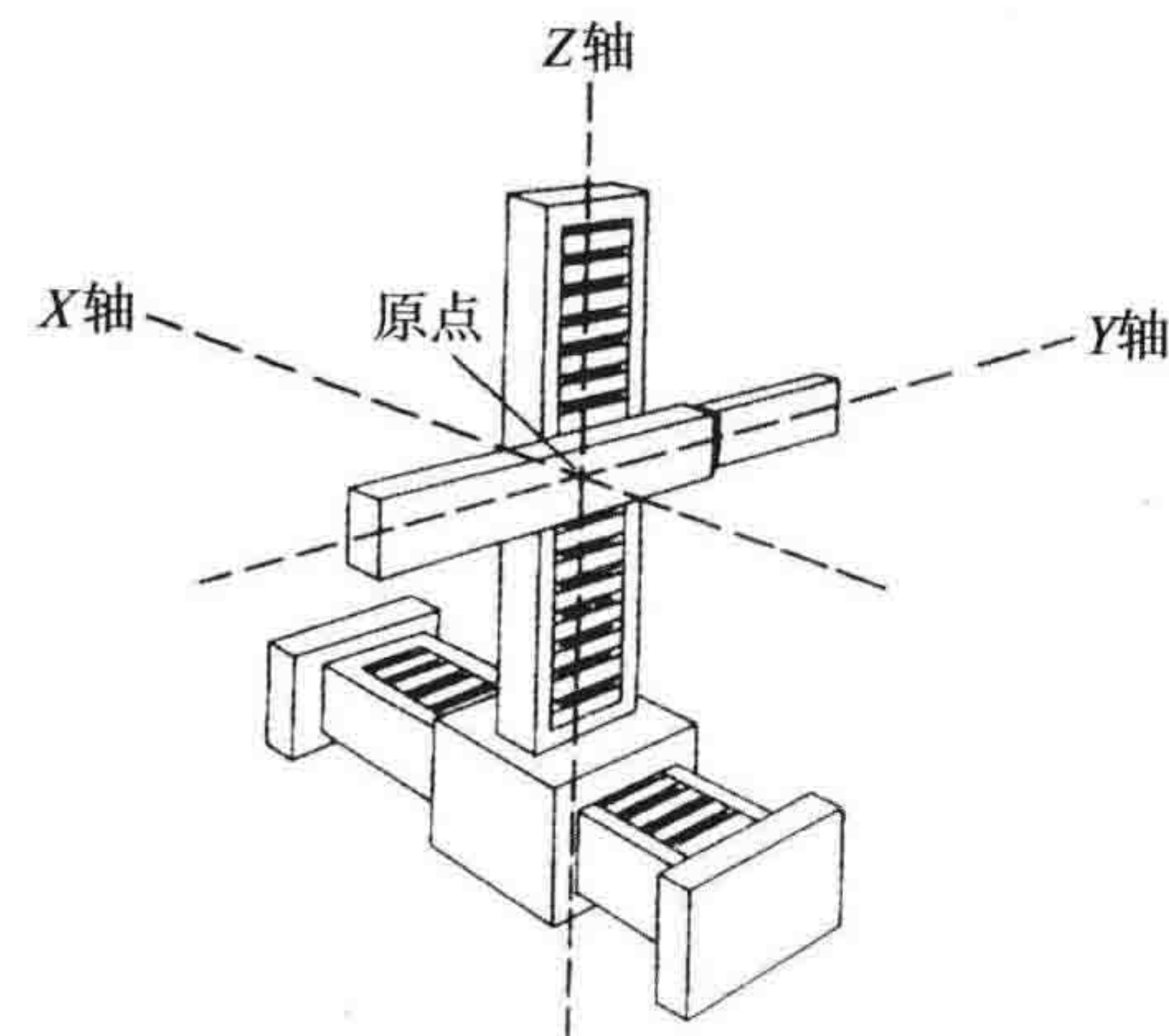


图 22-10 笛卡尔坐标系与  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  轴 (Malcolm Robotics 产品)

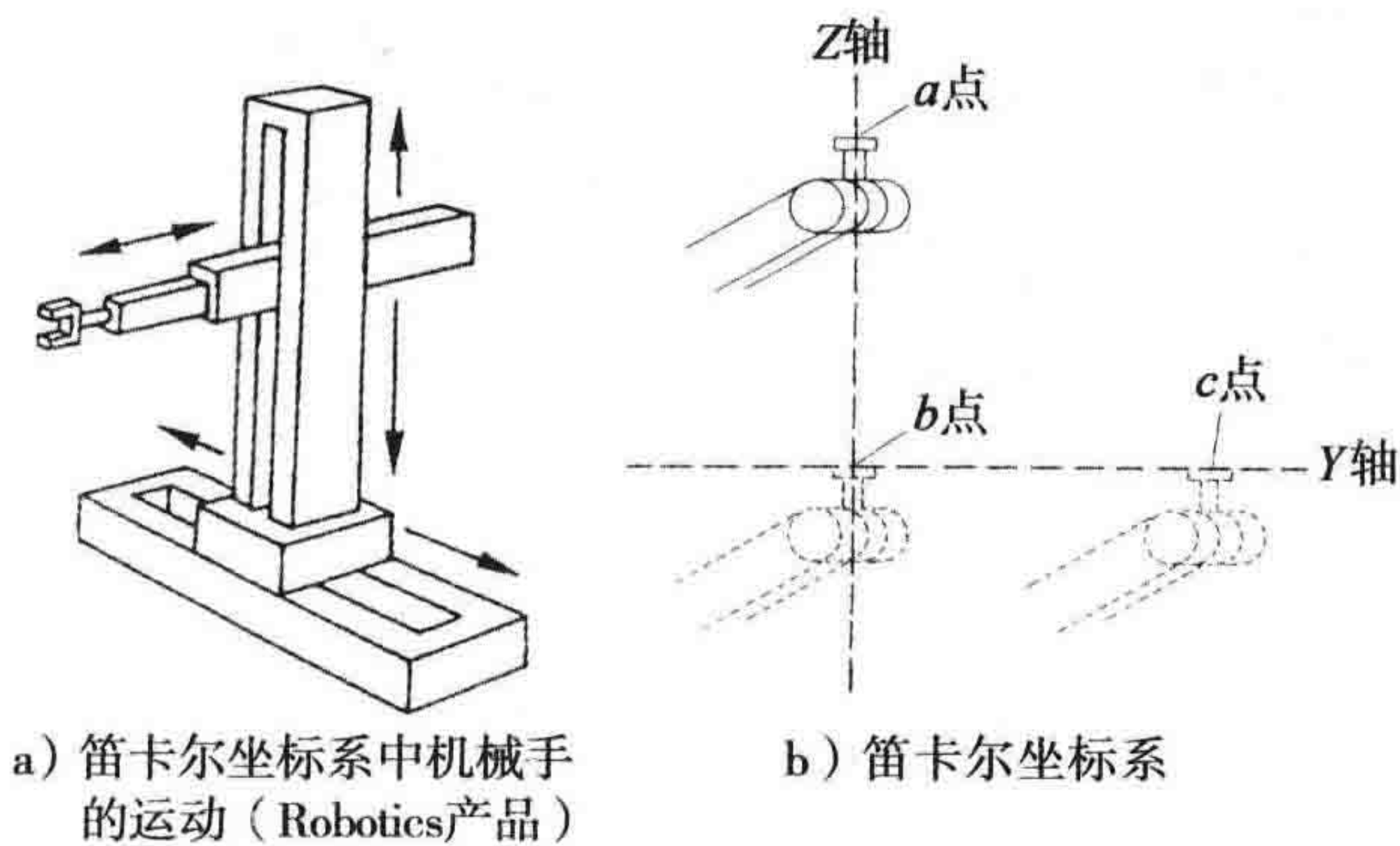


图 22-11 机械臂的运动

笛卡尔坐标系是机器人操作中最简单的坐标系统，可用于装卸货物和点对点操作。此类机器人可进一步划分到低端技术类型中，但并不是笛卡尔坐标系本身使其成为低端技术的。大多数气动拾取与放置机器人都是基于笛卡尔坐标设计的，属于低端技术，参见图 22-11。

坐标系也可描述腕部的可能运动，机械臂若缺少某种末端器作为机械手，其工作能力就会受到限制。腕部所具有的坐标轴为俯仰轴、偏航轴和翻滚轴。笛卡尔坐标机器人的作业区域是矩形的，极坐标机器人（见图 22-12）的作业区域是球形的，关节坐标系的作业区域为水滴状，柱坐标系的为圆柱形，如图 22-13 所示。

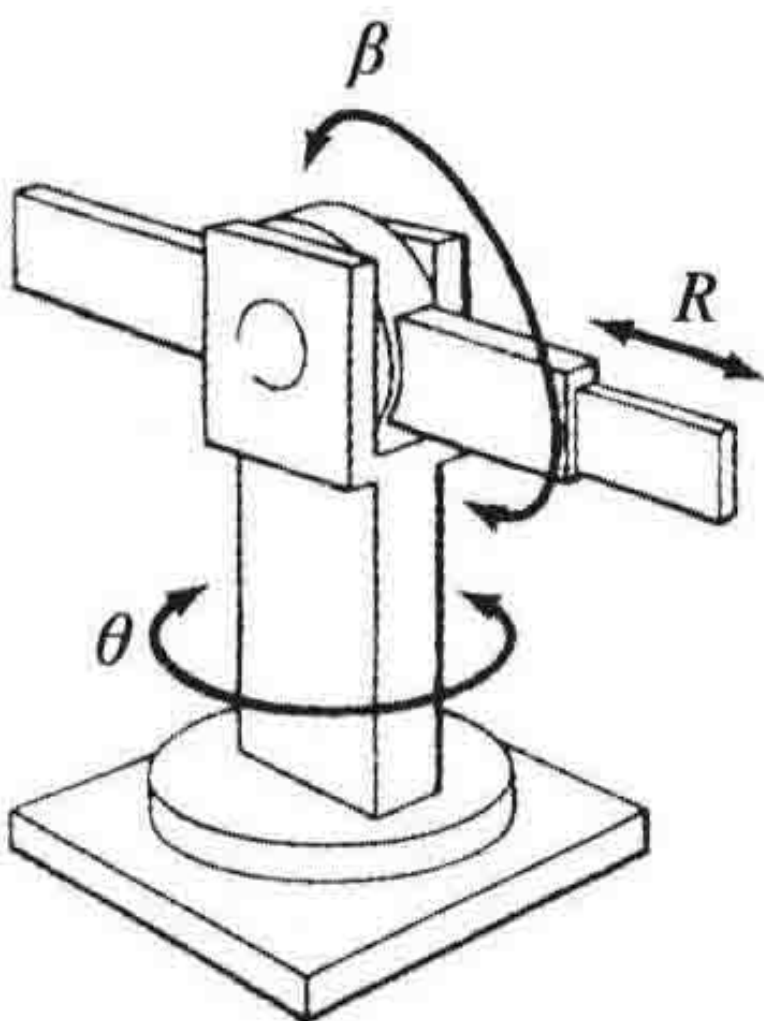


图 22-12 极坐标机器人的 3 个轴 (Robotics 产品)



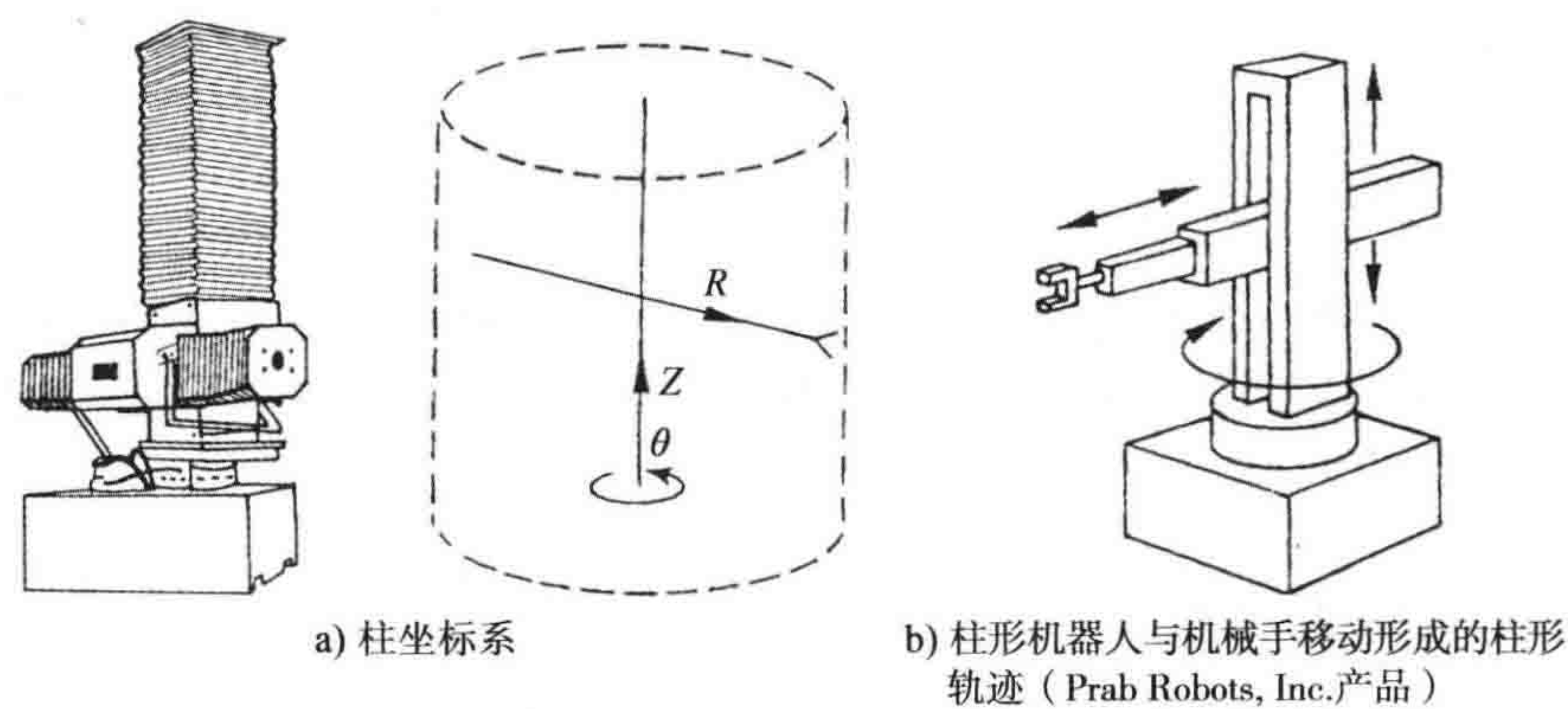


图 22-13 柱坐标系机器人

22.7 机器人的驱动系统

机器人的驱动系统分为以下几类：

- 气动型
- 液压型
- 电动型

每种类型由于其工作方式的结构限制有着不同的应用。每类驱动器都有优点和缺点，如图 22-14 与图 22-15 所示。

机器人需要某种驱动系统以实现其功能。液压、气动与电力驱动系统都可驱动机器人。液压系统用于承载重负载，气动系统用于承载中低负载，而电力驱动用于承载低负载。

液压系统利用液压泵实现液体流动，这正是机械臂末端工作所需要的。有几种静液压泵可使系统正常运行。

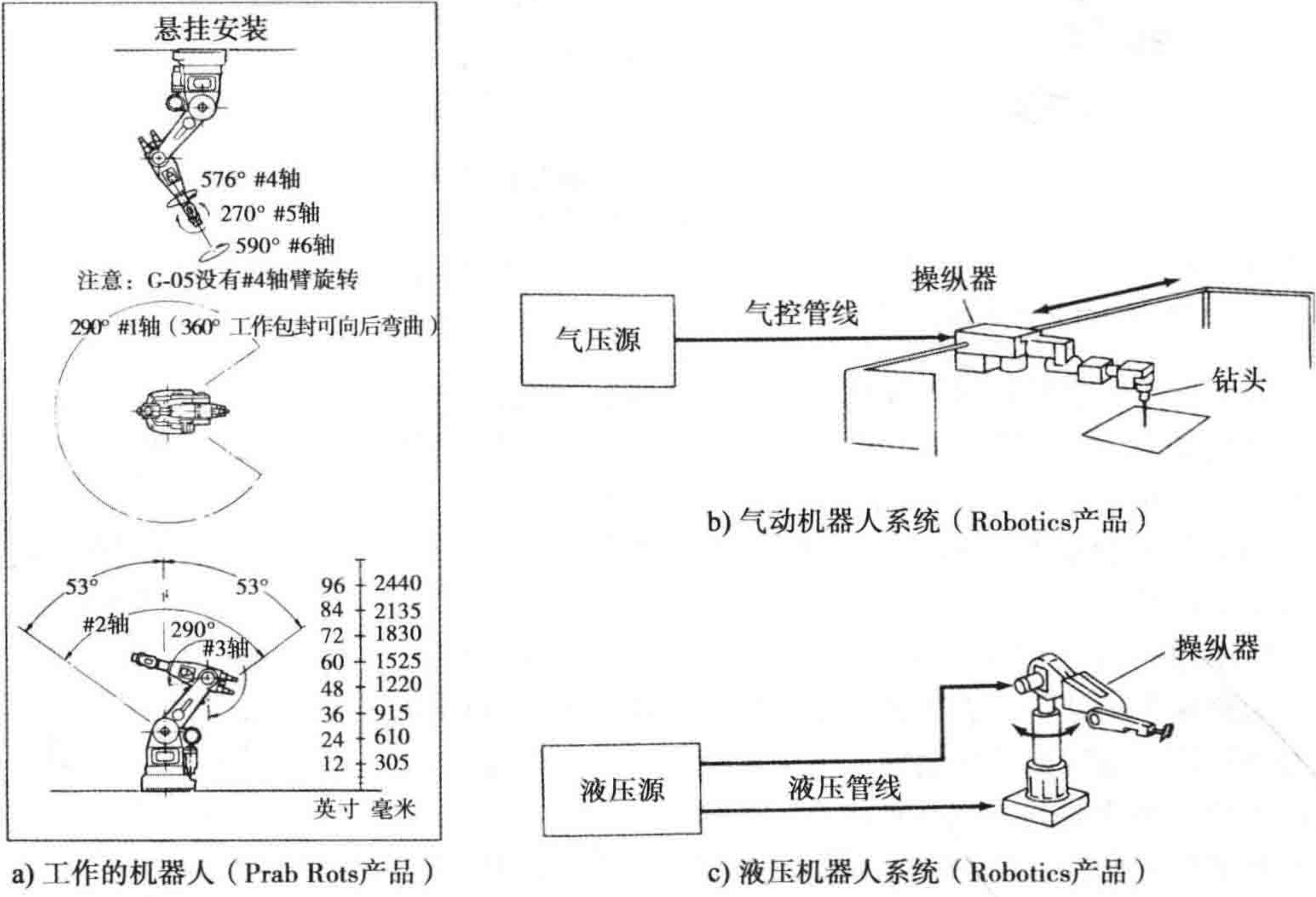


图 22-14 不同类型的驱动器



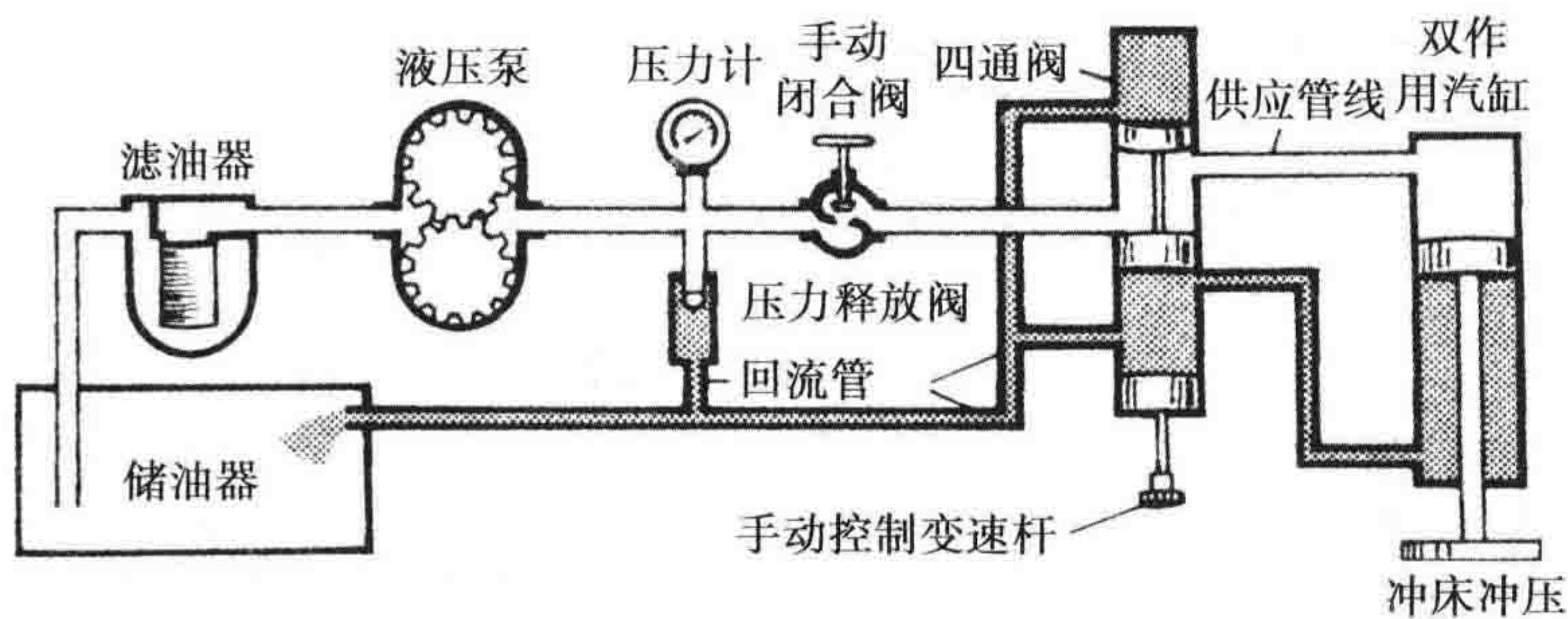


图 22-15 液压系统

汽车利用液压系统可实现刹车。当踩下刹车踏板时，液体池压力增加，液体流入制动气缸；然后制动气缸向刹车片施加压力，而刹车片与前轮的刹车盘相连。对刹车片施加不同的压力，行驶的汽车就会按期望停车或减速缓慢行驶。机器人所用的液压系统与汽车的制动系统类似，液压是希腊语中水的意思。然而，在机器人驱动系统中使用的是油而不是水，参见图 22-16。

气动系统借助空气来完成工作，如图 22-17 所示。操纵器末端装有气动电动机，可抓取或搬运正在处理的负载。气动系统并不需要空气回送系统，而是将废气直接排到大气中。单词 pneu 是拉丁语中空气的意思。在机器人领域，压缩空气相当于媒介。

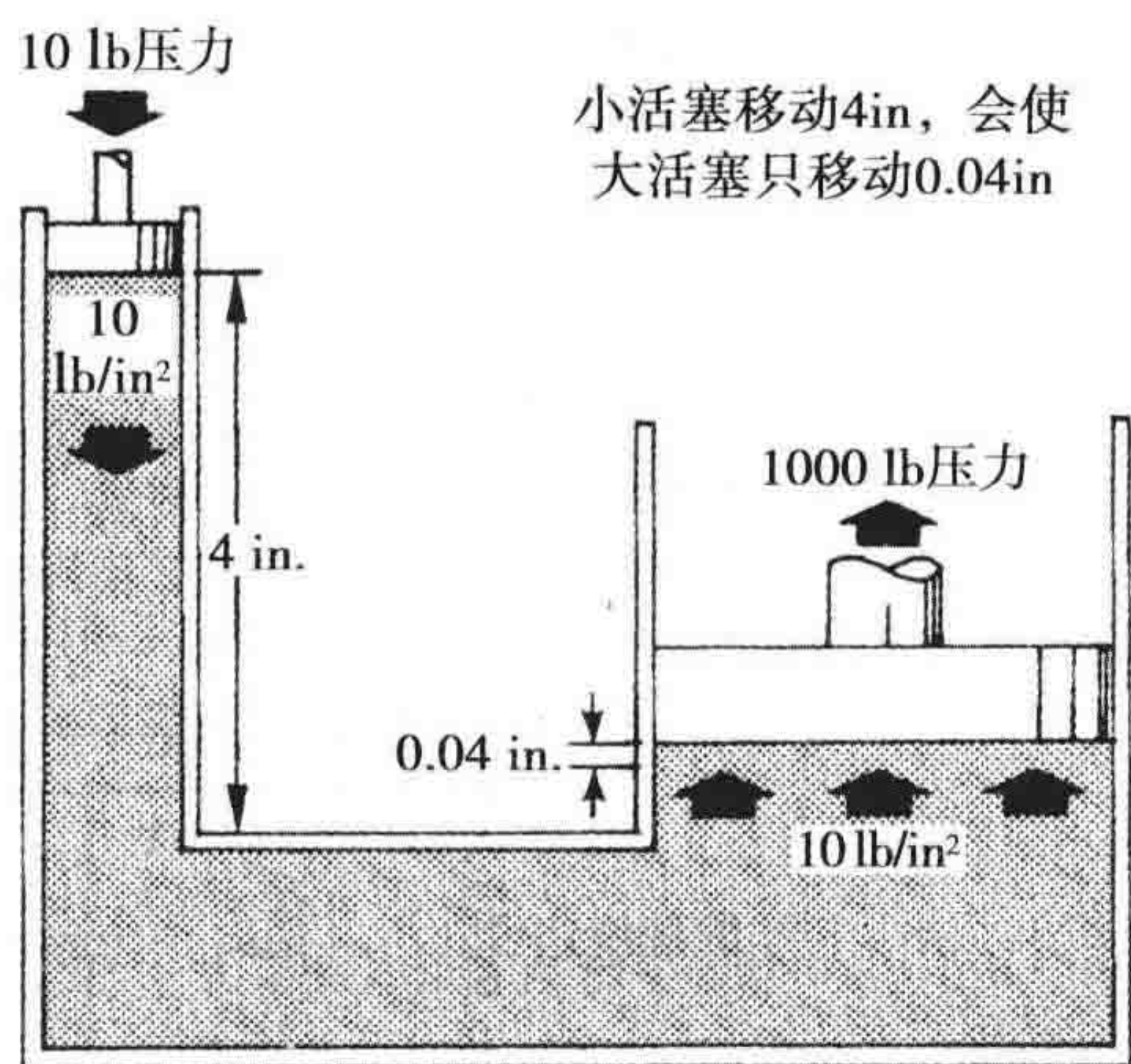


图 22-16 液压的变化（10lb 的压力可产生 1000lb 向上的力，但是注意两者的移动距离）

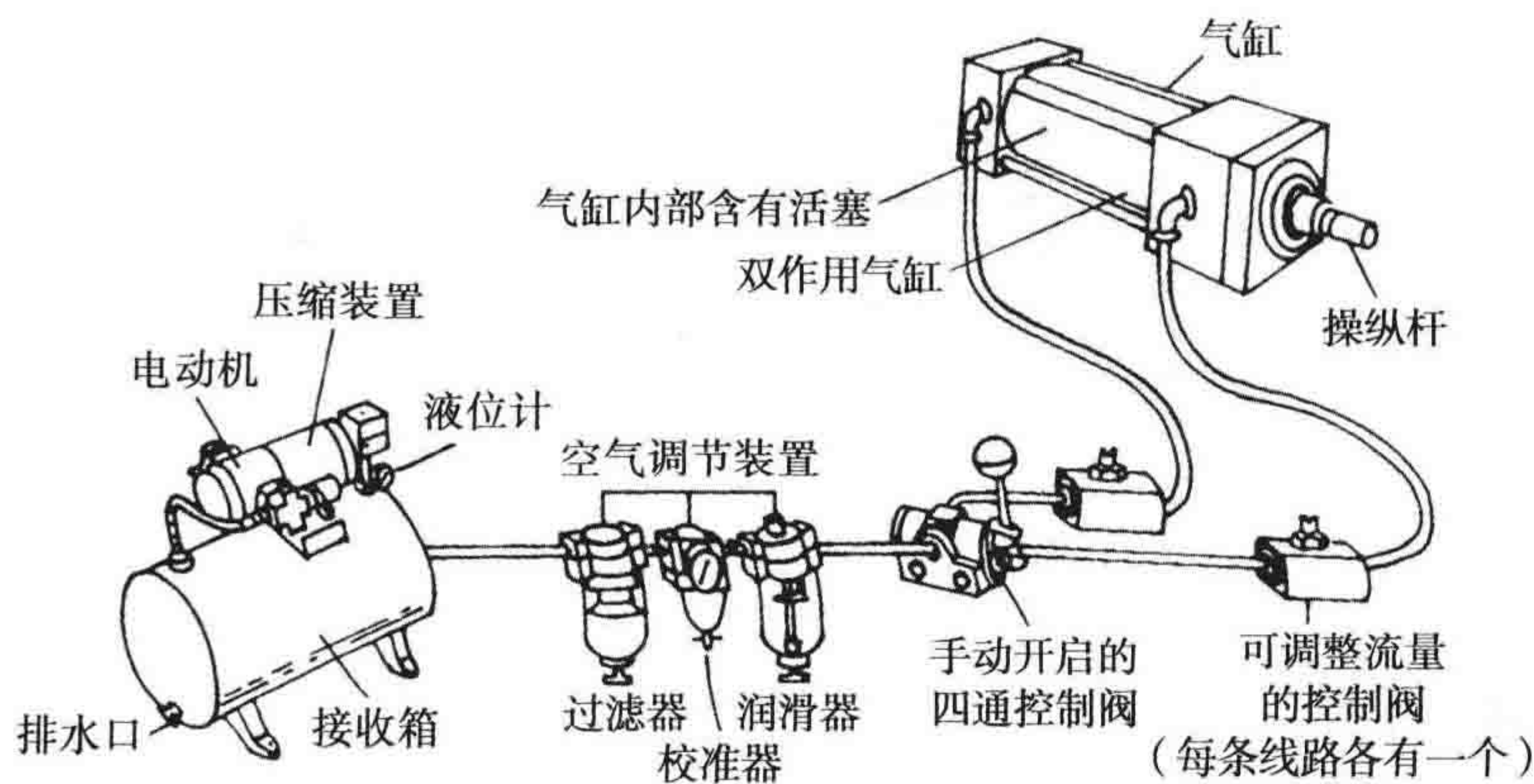


图 22-17 气动系统与气缸，气压推动活塞与操纵杆工作

电力驱动系统由电动机驱动，电动机种类很多，但直流电动机更适合完成精细的移动与动作。永磁电动机、步进电动机、无刷直流电动机以及霍尔效应直流电动机可实现机器人的多种功能。交流电动机可用在承担重载而不需要精确动作的地方。交流电动机分为感应电动机与笼型电动机，每种都有特定的应用场合。根据笼型电动机的起动电流与起动转矩，可进一步分为六类。如图 22-18a、b 所示。



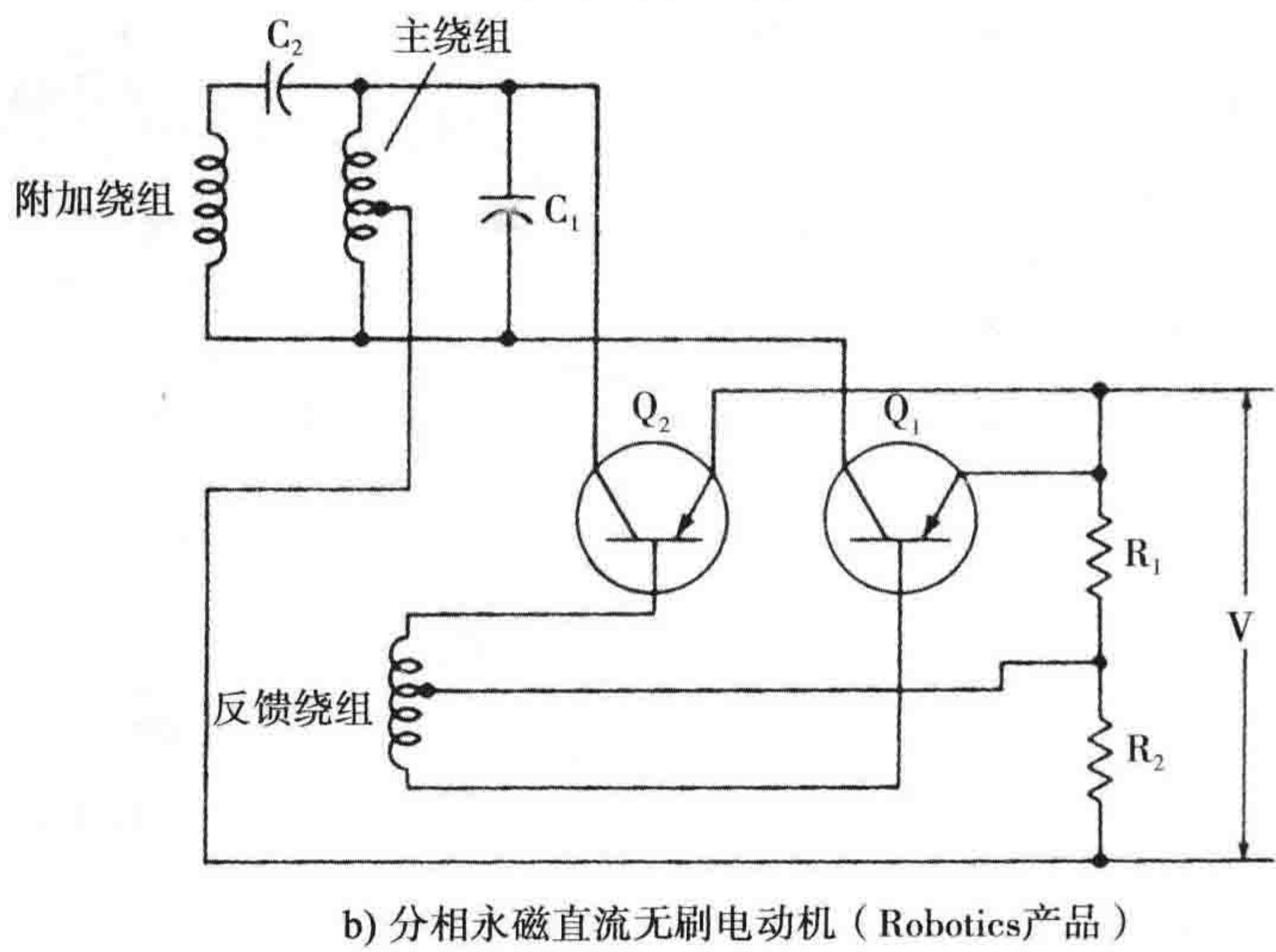
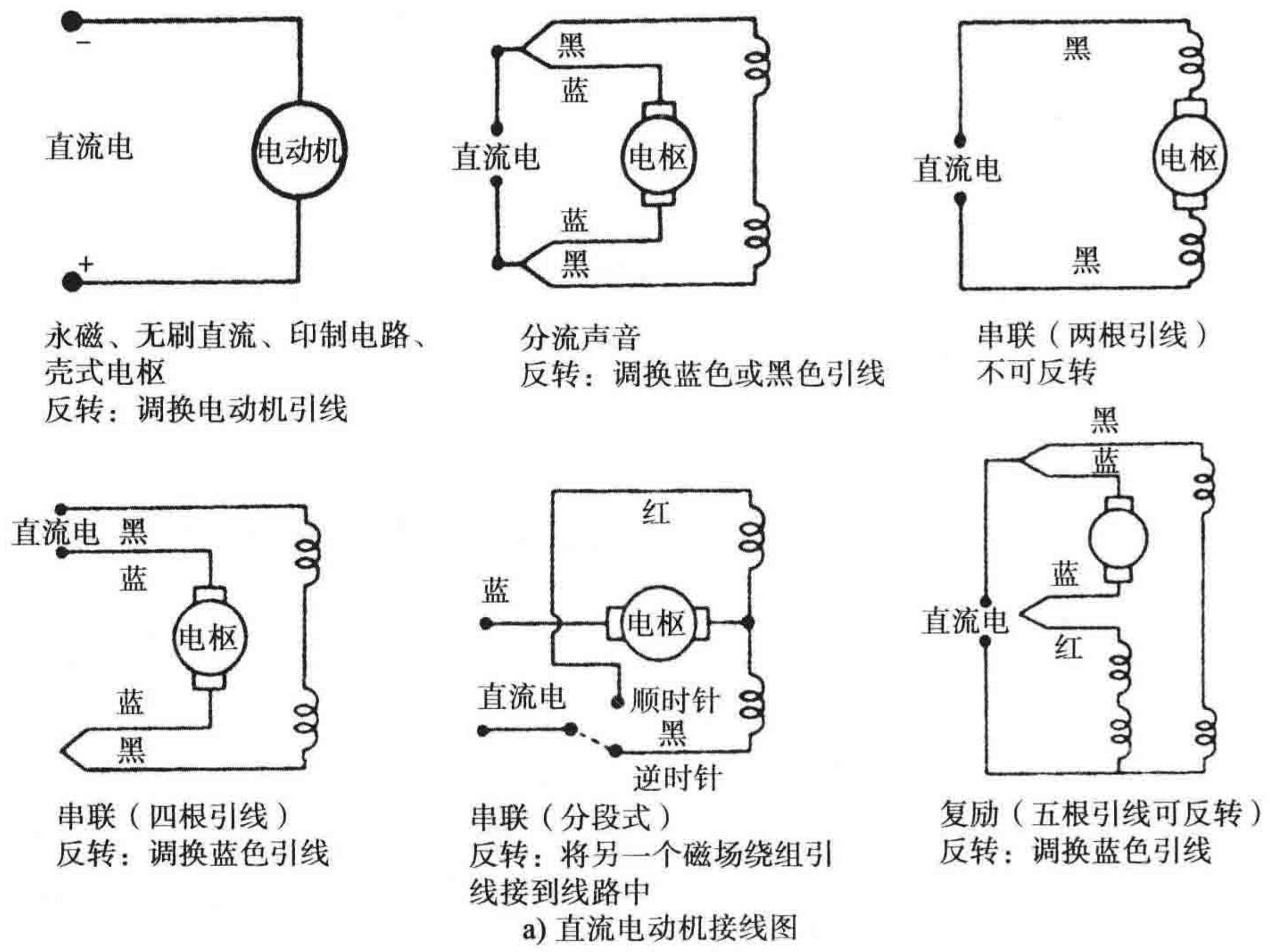


图 22-18 电动机驱动系统

## 22.8 终端执行器

终端执行器也叫机械臂终端工具。操纵器可以移动装在其端部的终端执行器。夹持器可以抓取并握持正在加工或封装的物体，或者是抓取并放置于托盘上。夹持器的类型有真空型、电磁型，它和多种机械装置一样用于夹持或握持物料。如图 22-19 与图 22-20 所示，许多夹持器是由机器人工厂生产的。要想合理地使用机器人，其放置位置至关重要。机器人需要反复在同一个地点放置物体，所以它不能离放置地点太远。机器人的分类如下：

- 低端技术
- 中端技术



● 高端技术

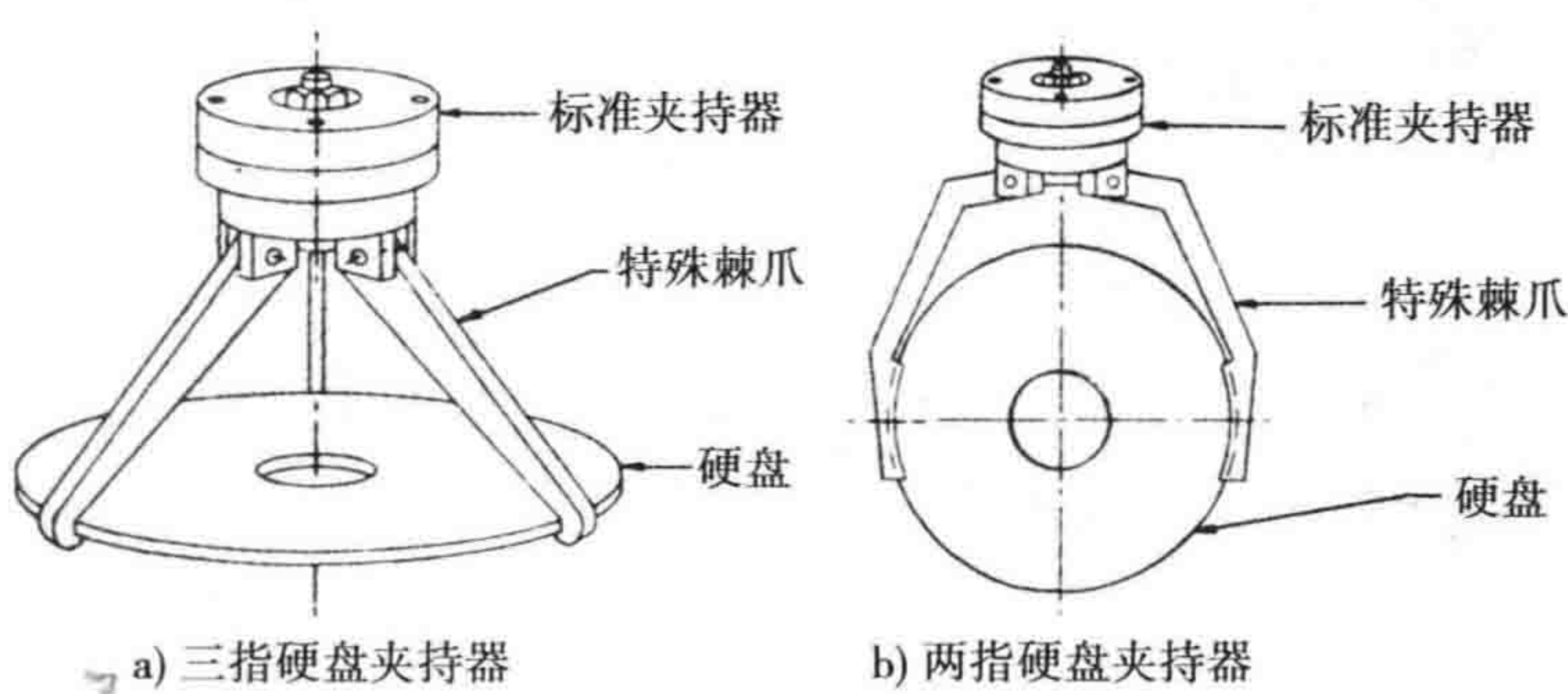


图 22-19 两指夹持器与三指夹持器 (Mack Corp 产品)

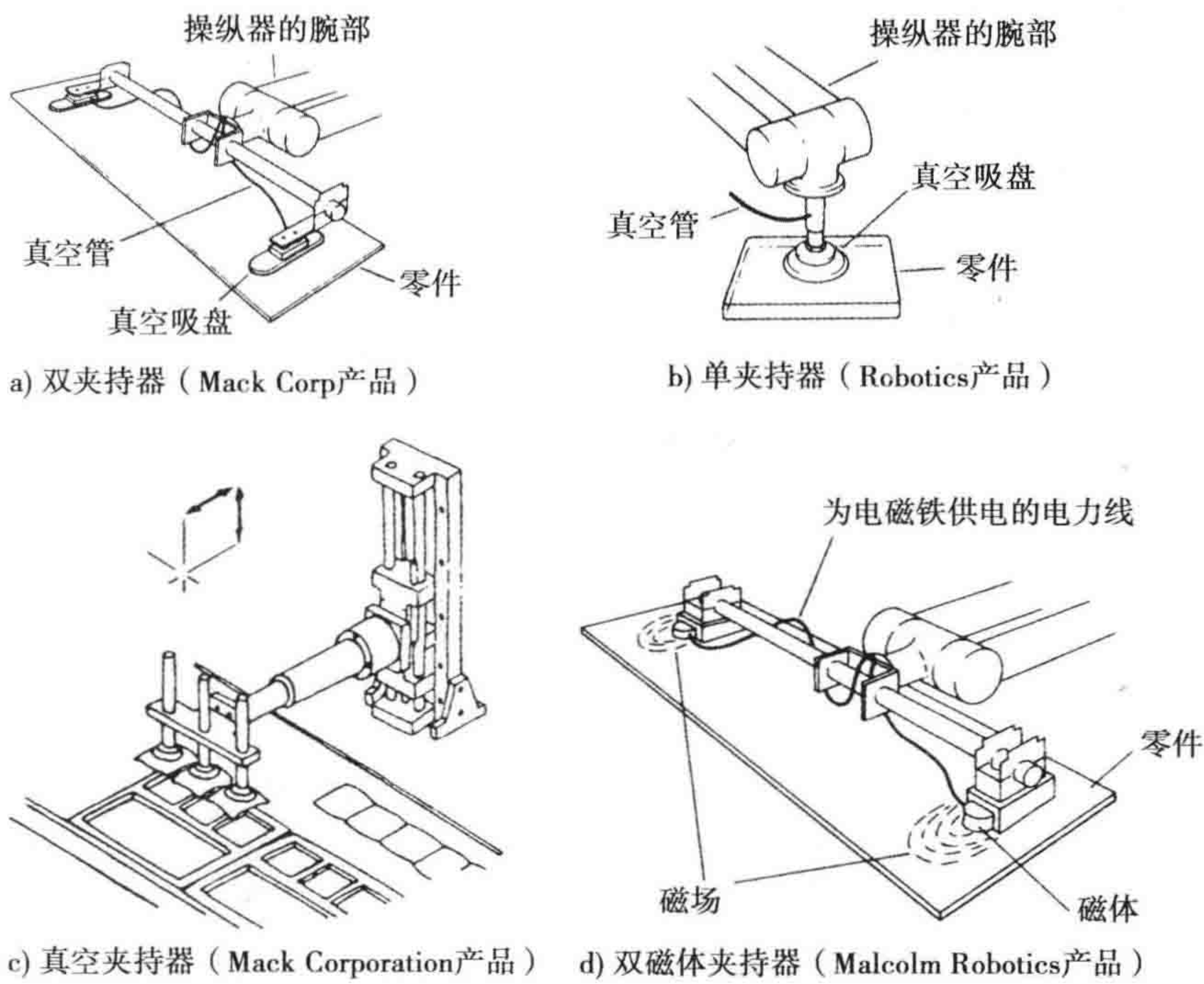


图 22-20 夹持器

处理机器人程序的控制器，因其类型不同而具有不同的功能。能耗制动与反接制动都会使操纵器停止工作。两种方法都有优点与缺点，根据不同的应用情况可用在不同的位置。重复性与准确性是机器人系统很重要的两个方面。重复性是机器人重复地将物体放在同一位置的能力，而准确性则由机器人实现重复功能所达到的程度决定的。

齿轮、链条以及传动带是机器人所用的驱动方式，每一种都有自己的应用场合。例如，齿轮方式具有一定的准确性，但是噪声较大（见图 22-21）；链条方式有其局限性；传送带仅在短距离传输动力的情况下使用；谐波驱动则常常是为了减少齿侧间隙，同时提高机器人操作效率时使用，如图 22-22 所示。谐波驱动消除了标准传输中存在的大量噪声。在消除齿侧间隙或减少齿轮松动时，滚珠螺杆是一个很好的改进方案（见图 22-23）。

机器人要想握持并识别物体，就必须能够感知物体的存在、尺寸与形状。转换器可将非电信号转化为电信号，此时，转换器充当了传感器的角色，如图 22-24 所示。



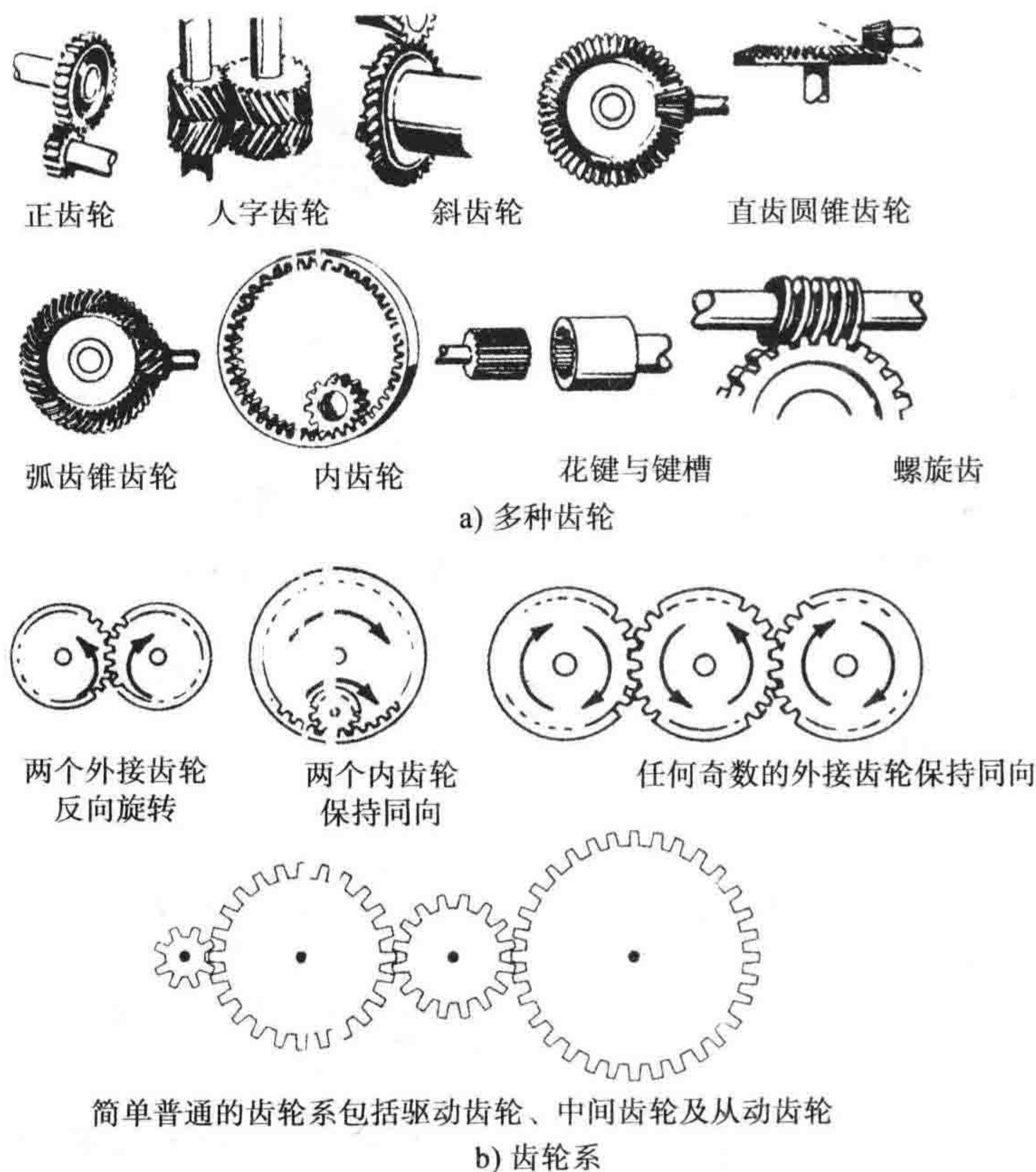


图 22-21 齿轮组合与齿轮传动系

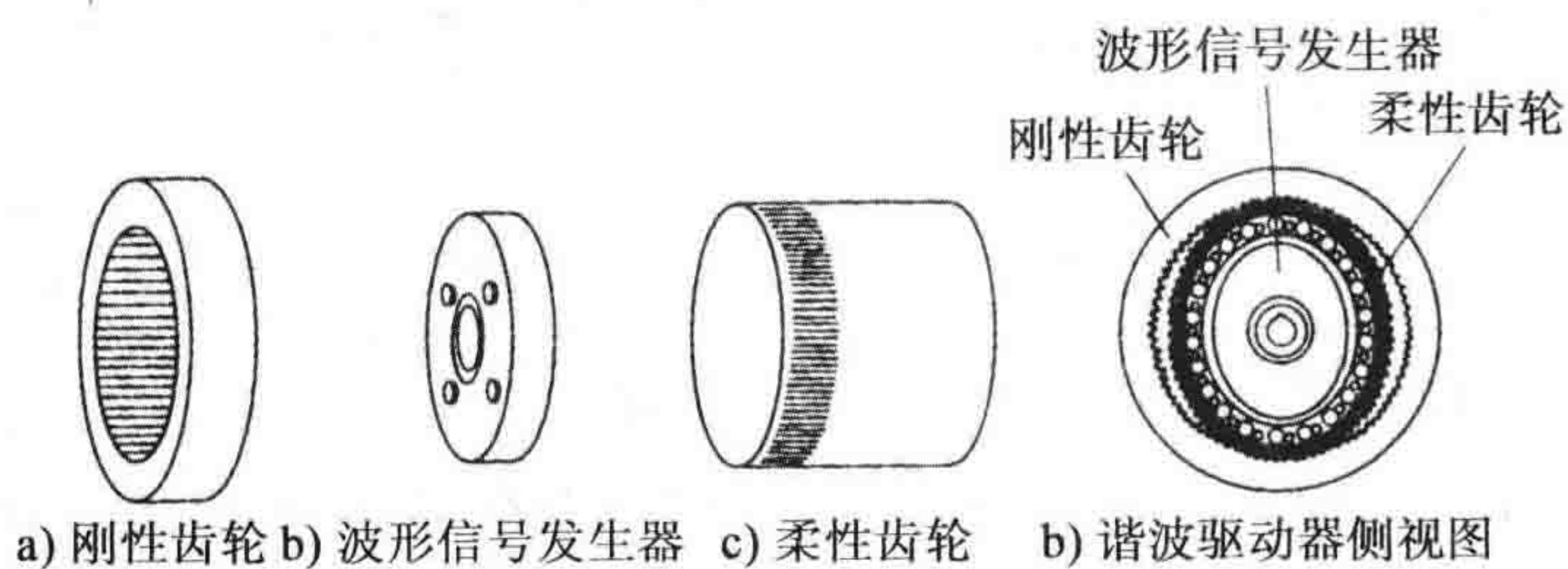


图 22-22 谐波驱动器 (Robotics 产品)

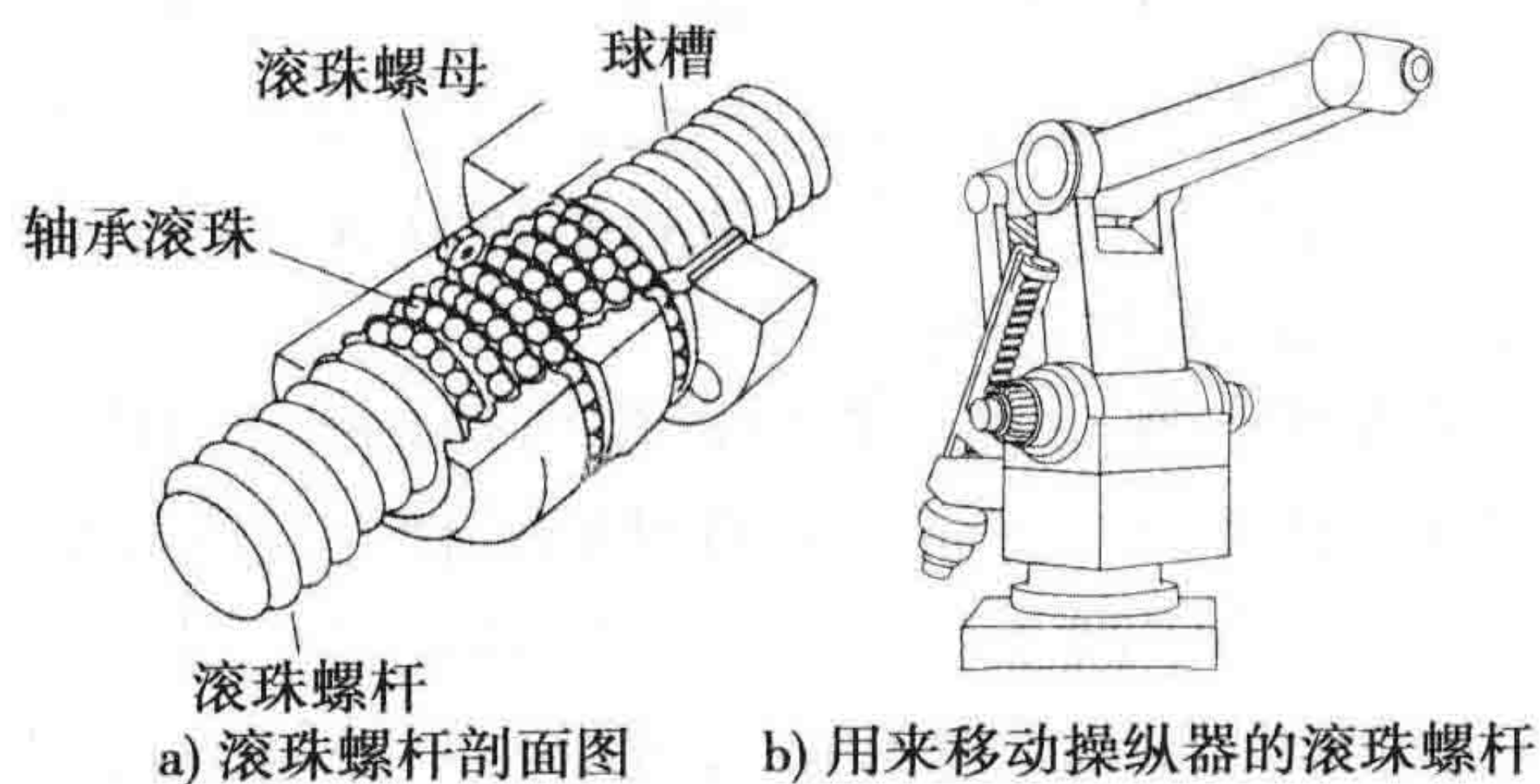


图 22-23 滚珠螺杆 (Warner Clutch and Brake Co. 产品)

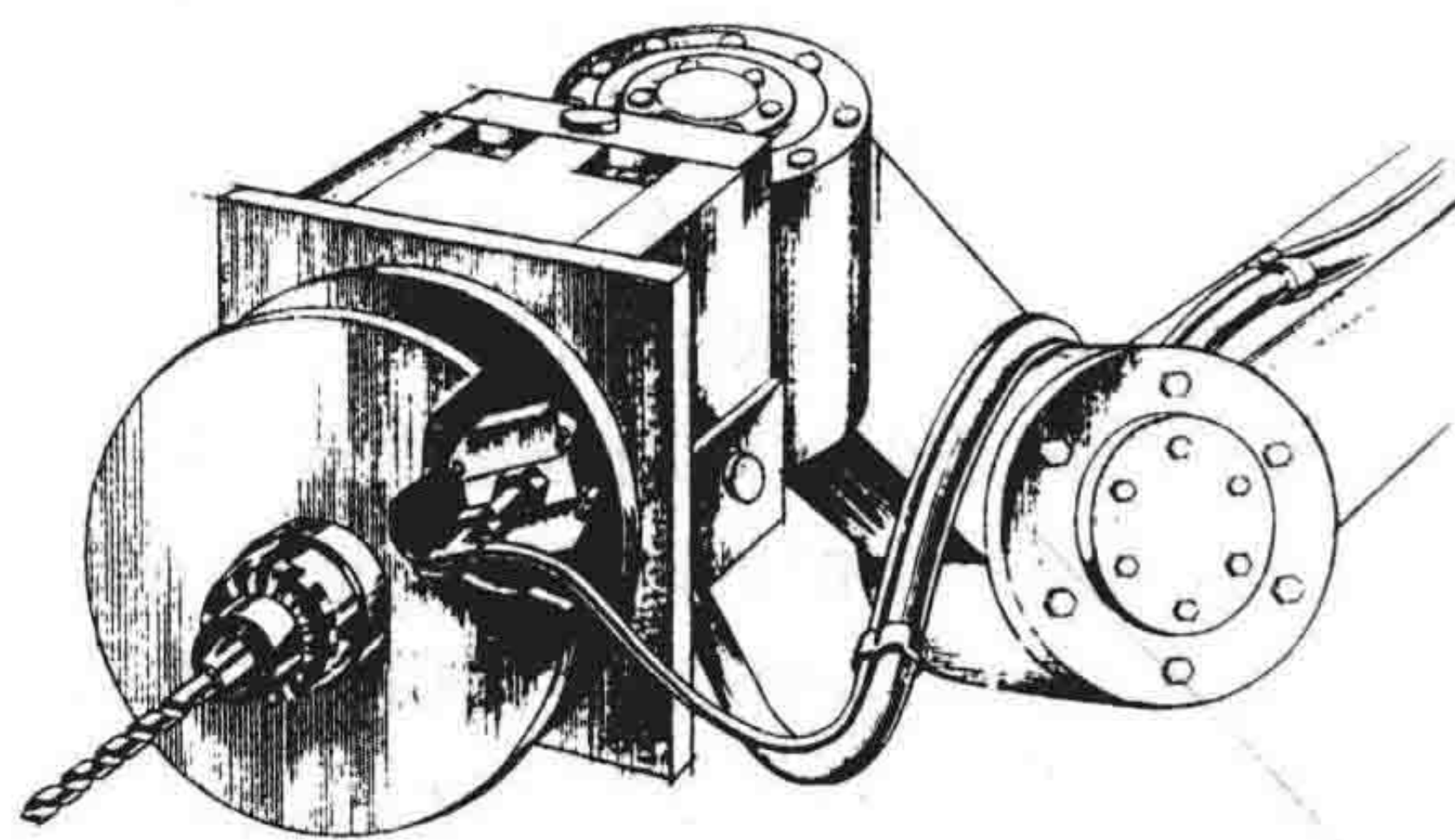


图 22-24 终端执行器上的皮耶佐电阻式转换器，可高效控制自动钻孔中的气压 (Microswitch, Honeywell Division 产品)



## 22.9 限位开关

限位开关可以通过触动控制杆或滚轴来接通或断开。一些采用低端技术与中端技术的机器人会使用这种传感器（见图 22-25）。

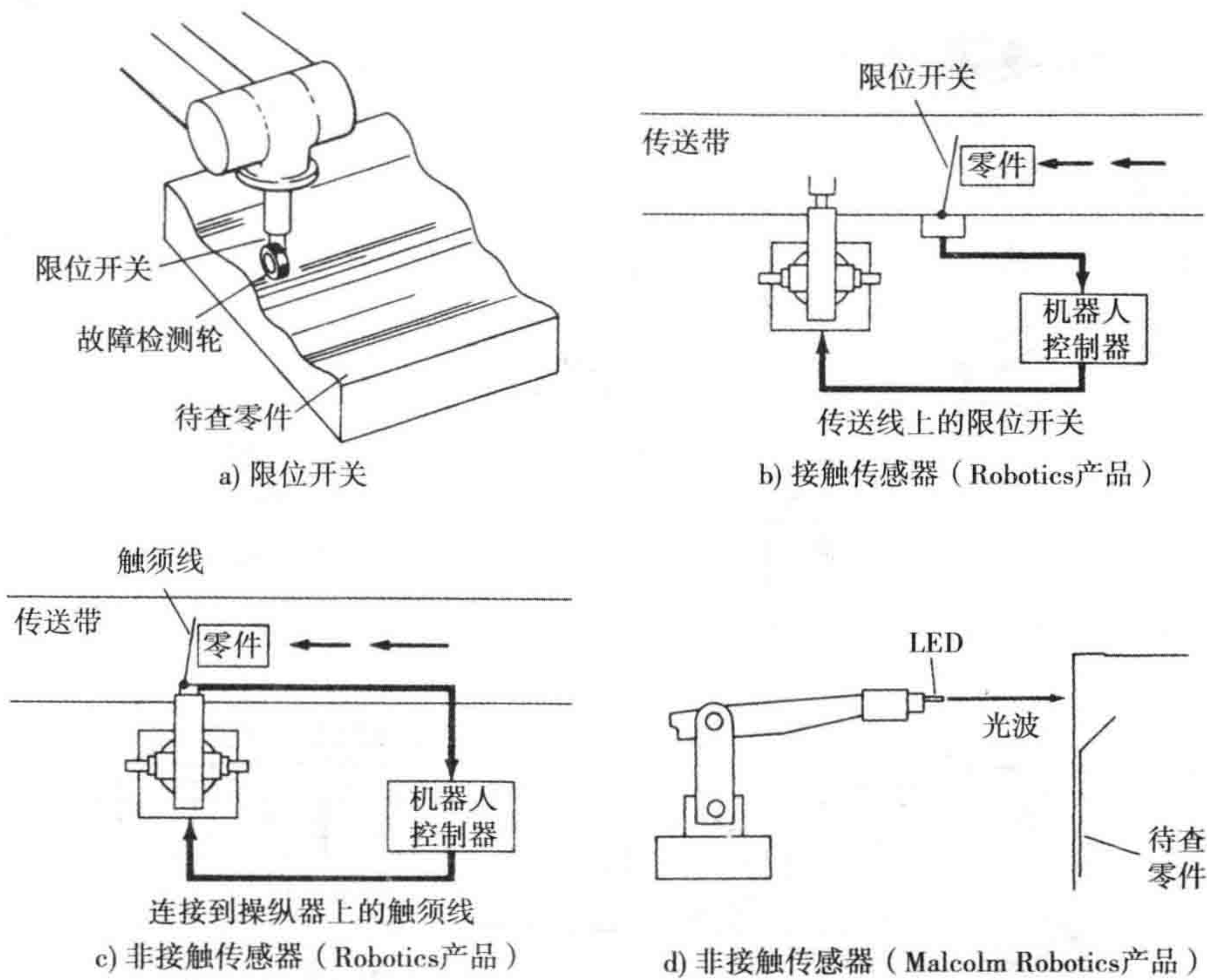


图 22-25 限位开关

## 22.10 传感器

传感器分为接触型与非接触型，也可分为内置型与外接型或无源型与有源型。大多数机器人传感器都是接触型或非接触型的。限位开关是一种接触型传感器。触摸传感器、力敏传感器、压力传感器、温度传感器以及触觉传感器都会对接触有所反应。压力变化、温度变化以及电磁场的变化都能通过非接触方式检测到，这些传感器都会对磁场或光图像的变化有所反应。

## 22.11 发光二极管

机器人中也会使用一些发光二极管（LED）传感器，光束会有几种应用方式（见图 22-26）。另一种光敏传感器是安装在操纵器端部的电视摄像机，如图 22-27 所示，它可以看到零件并与计算机存储器中信息进行对比。

之前提到，作业区域是指操纵器移动终端执行器的范围。不同机器人设计特点不同，作业区域也有所不同，如图 22-28 所示。机器人通常会放置在一个笼型区域中，避免人员进入作业区域。机器人的手臂移动非常快，击打到任何人都可能造成重伤。当维护人员在机器人的工作区域内时，要格外小心（见图 22-29）。



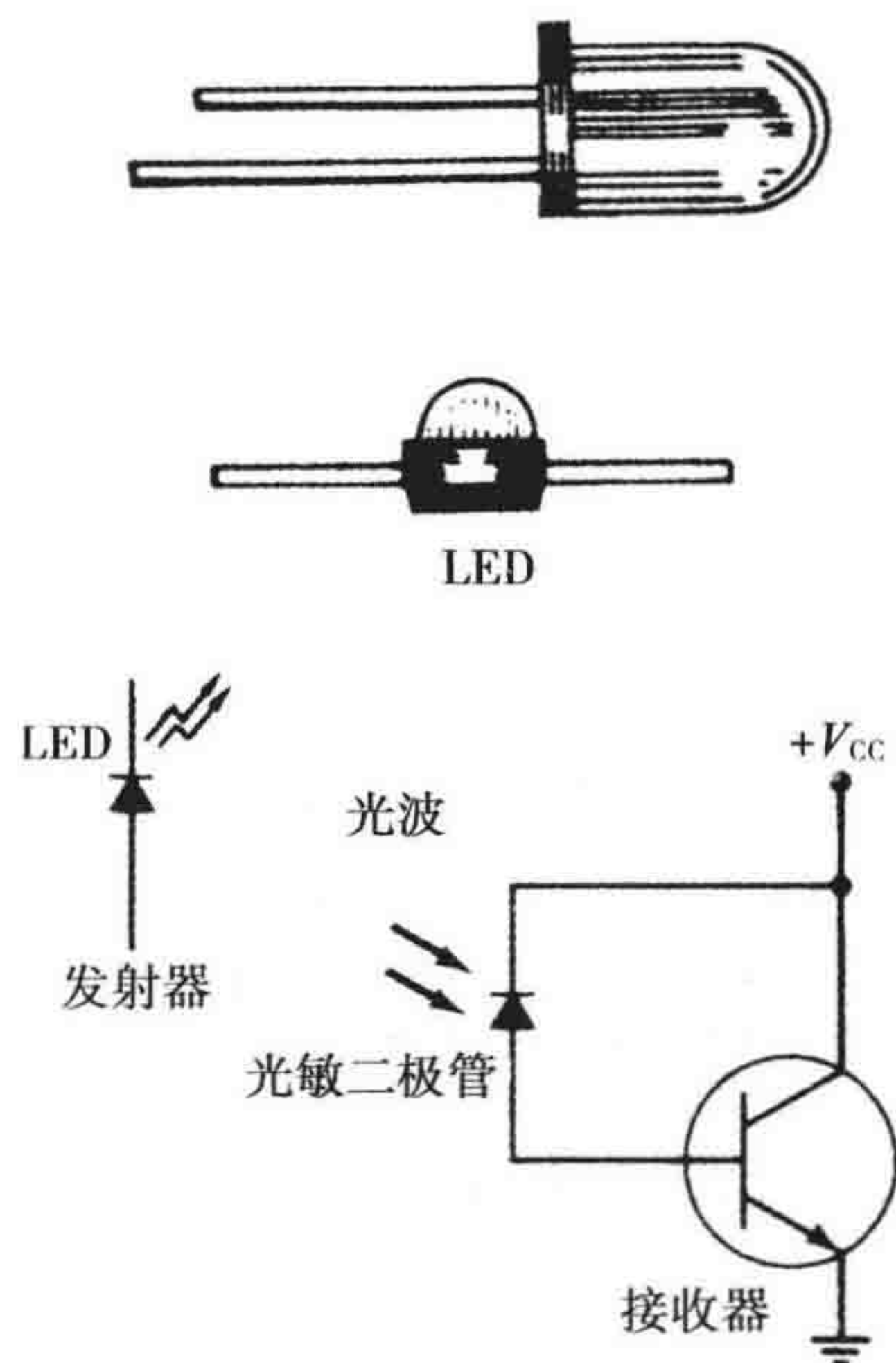


图 22-26 LED 传感器 (Robotics 产品)

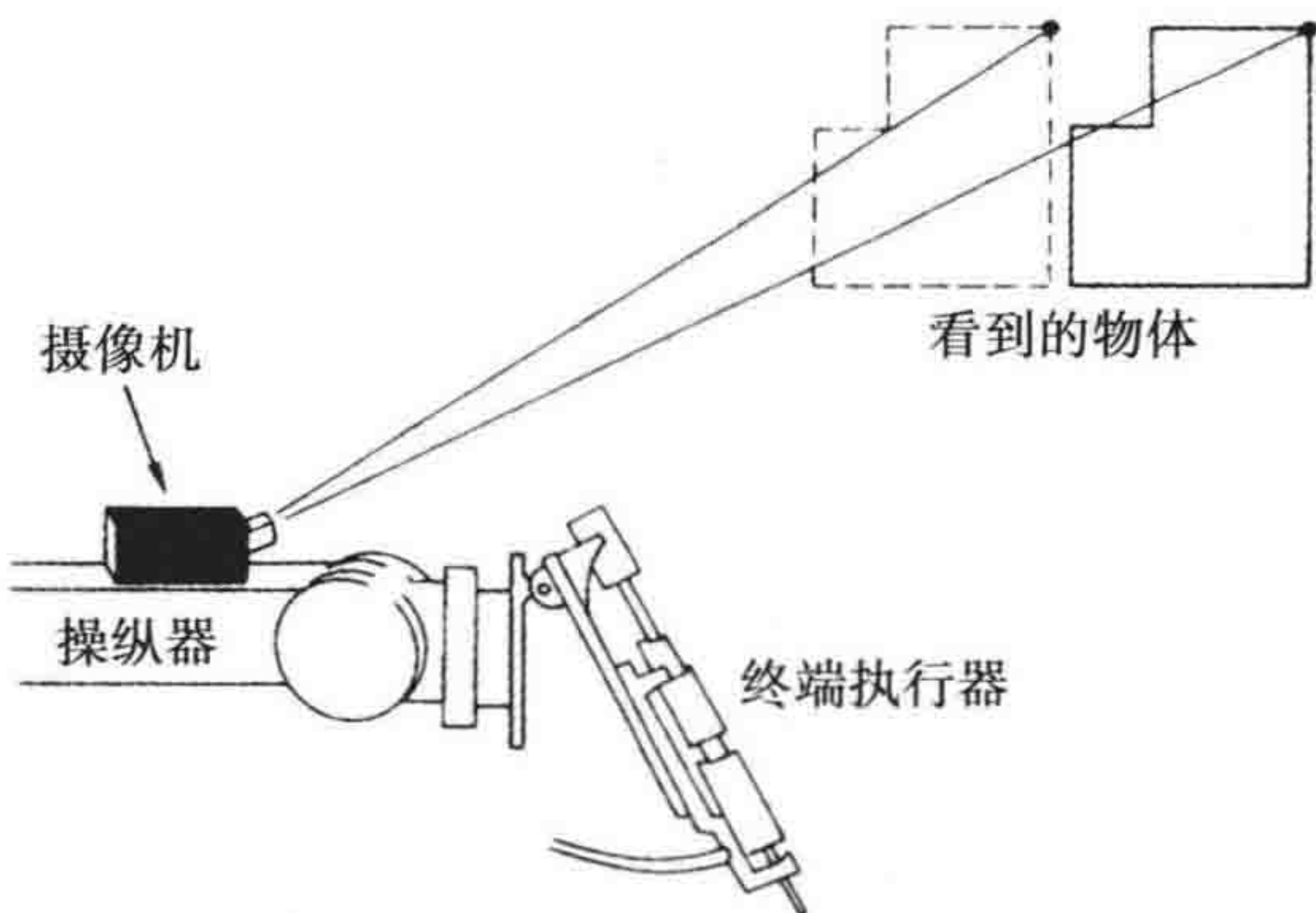


图 22-27 操纵器上的电视摄像机 (Robotics 产品)

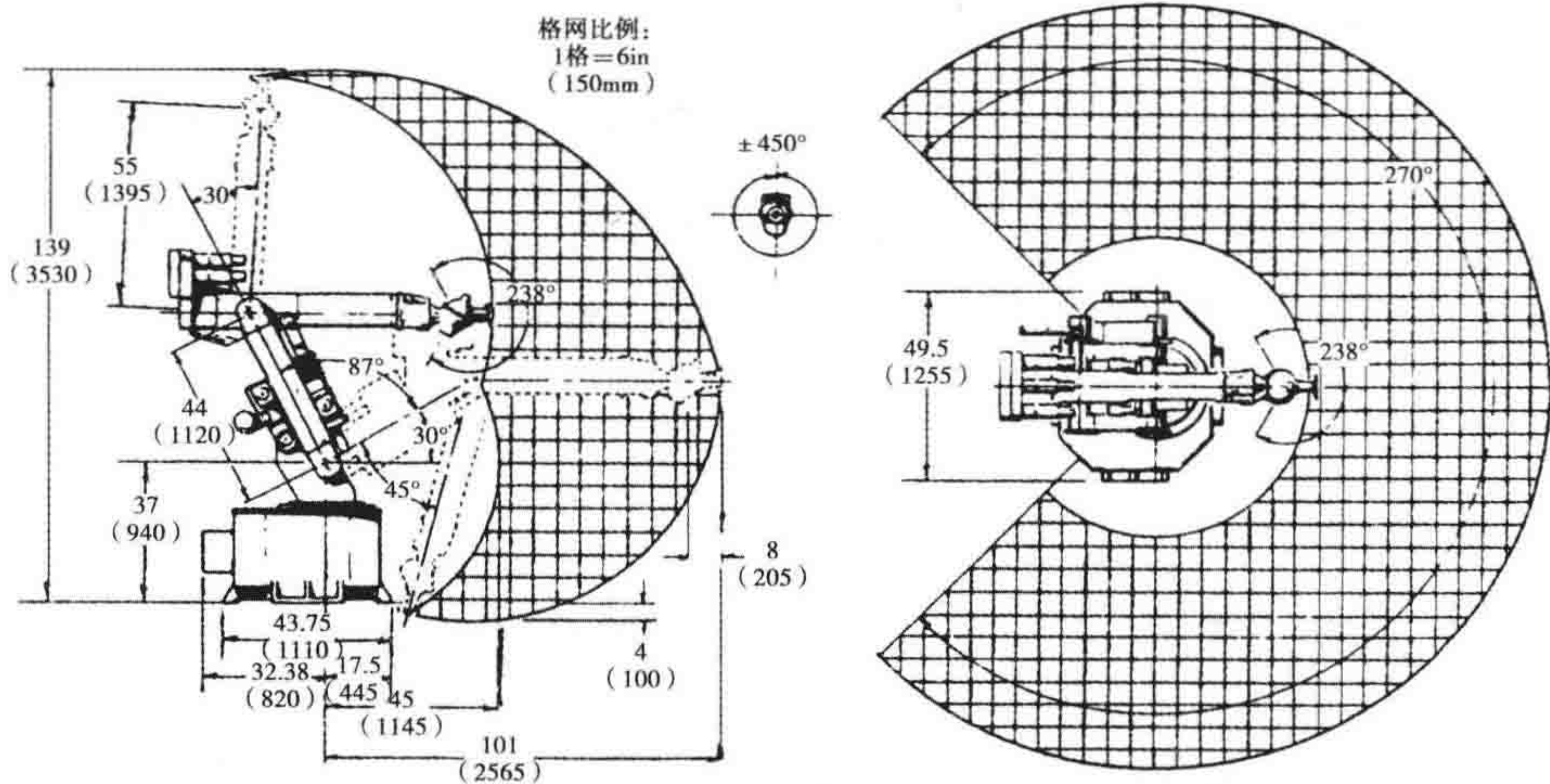


图 22-28 有带状开关的 0.5in 可变厚垫机器人 (Tape switch Corp of America 产品)

22.12 接近传感器

接近传感器可使机器人具有触觉与视觉，它们形式各异，工作原理也不尽相同（见图 22-30）。接近传感器可分为以下几类：

- 电感传感器
- 电容传感器
- 电阻传感器

这些传感器都有各自的优点。脉冲红外光电控制系统用在工业机器人上，可感知是否有物体存在。涡流接近传感器的功能是利用线圈

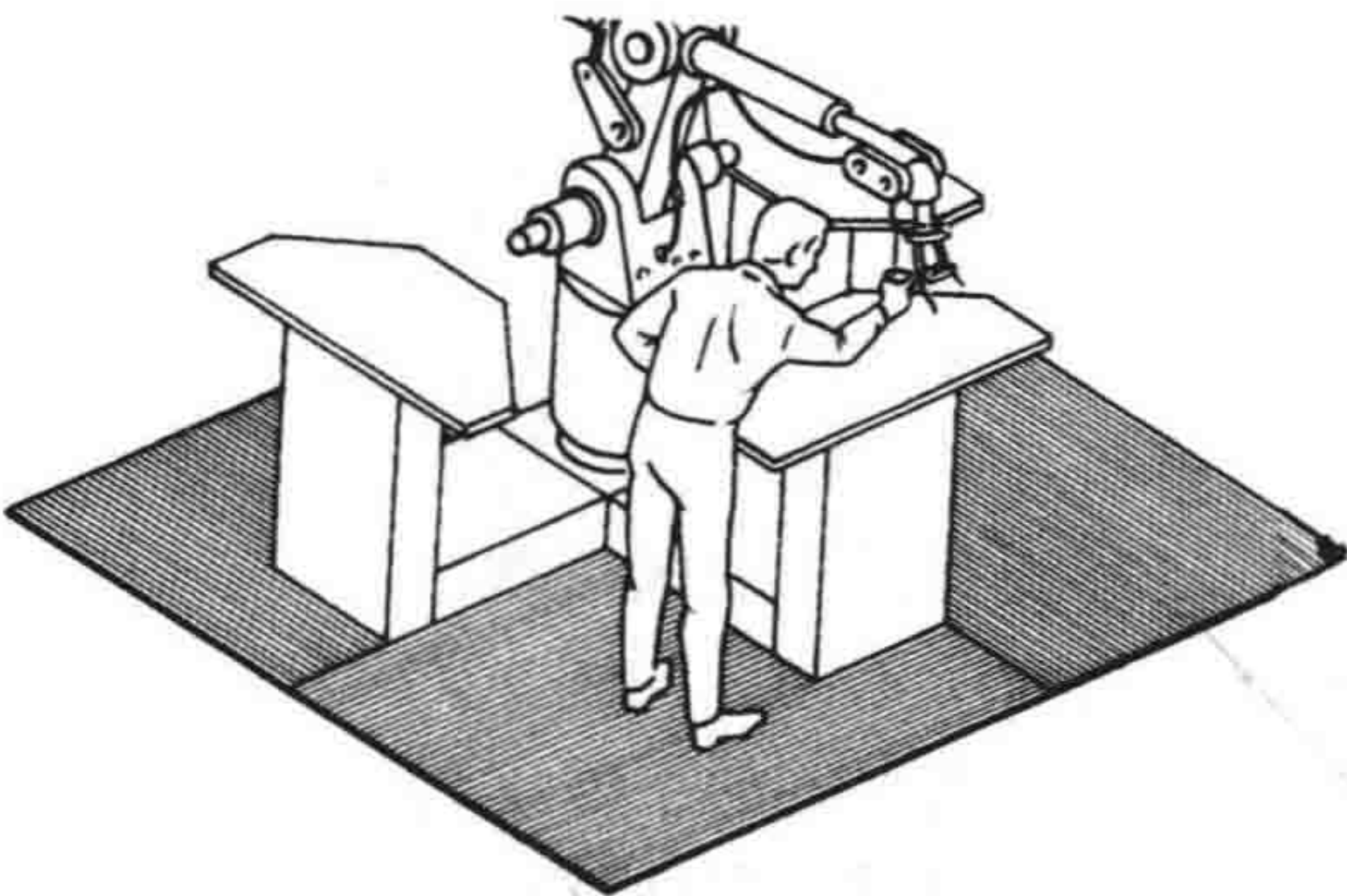


图 22-29 作业区域 (Cincinnati Milicron 产品)



感受物体内部磁场的变化而做出反应。簧片开关是另一种电磁式接近传感器（接近开关），可以对受控的电磁场做出反应（见图 22-31）。

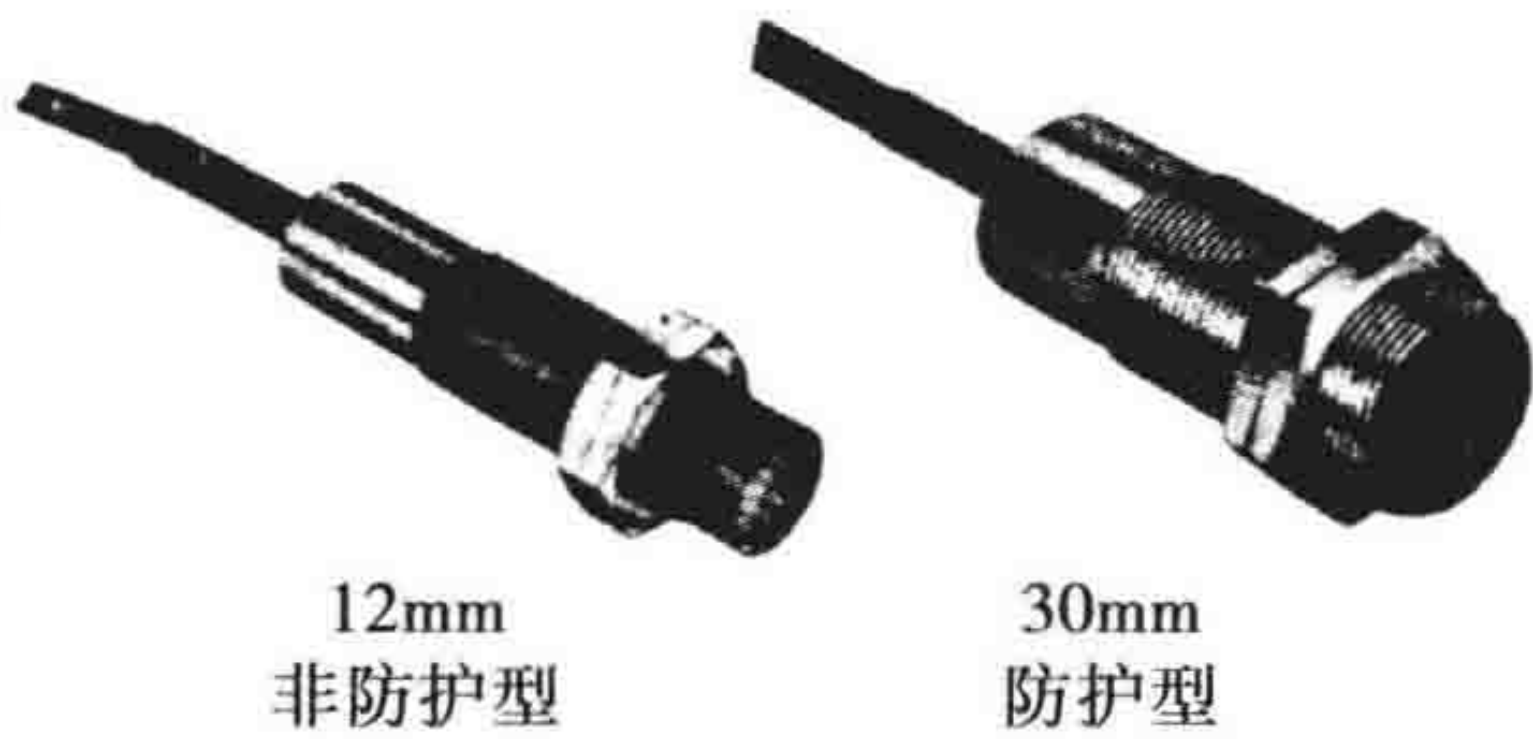


图 22-30 可避免碰撞的接近传感器

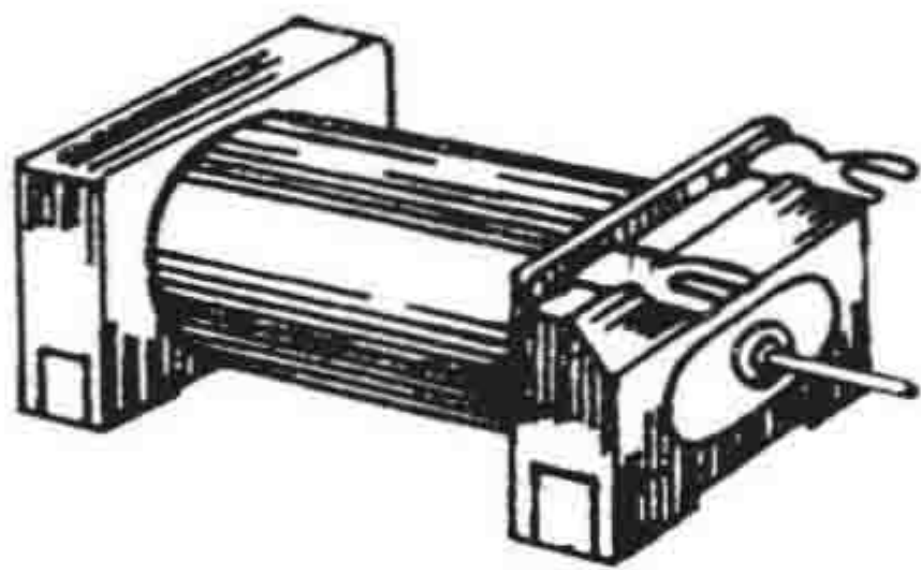


图 22-31 簧片开关

有一种接近传感器是激光干涉计，价格十分昂贵，对湿度、温度以及震动都很敏感。另一种接近传感器就是电视摄像机，见图 22-32。

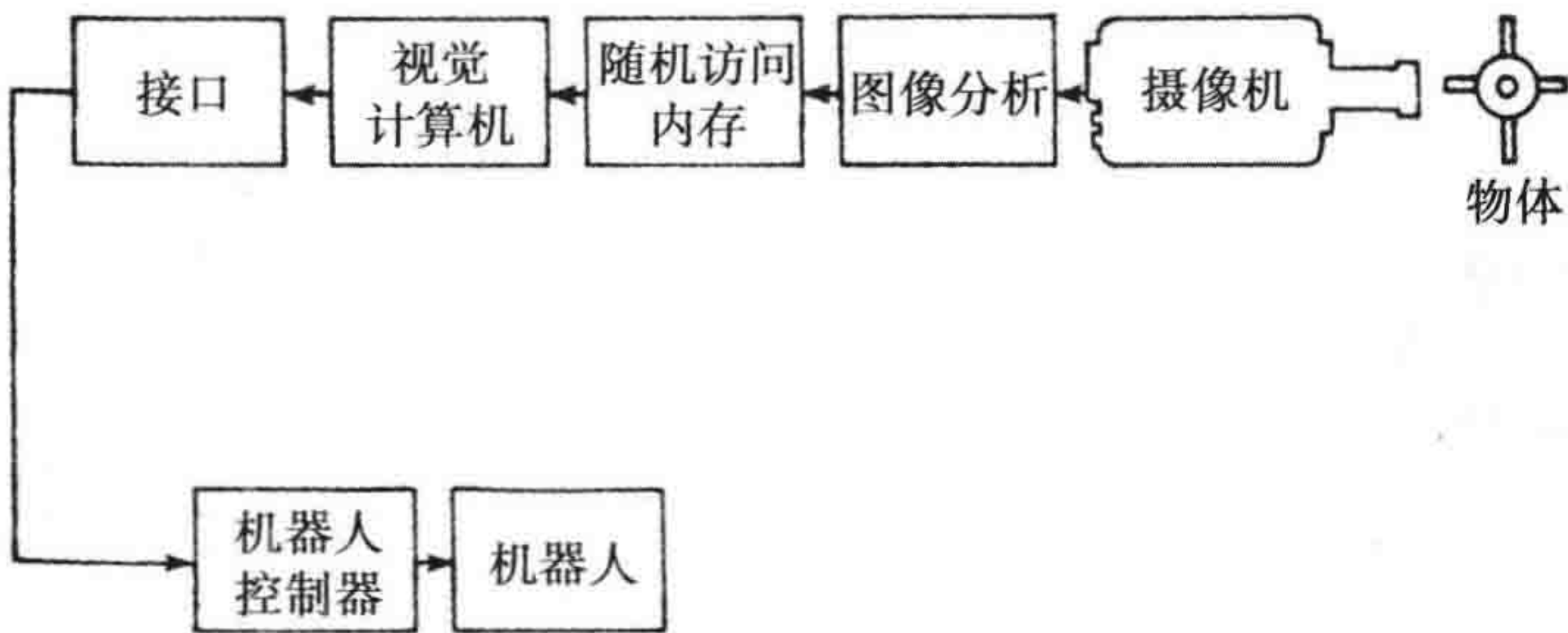


图 22-32 操纵器上的电视摄像机（Robotics 产品）

触觉传感器依赖于触觉，最简单的触觉传感器是微型开关。比目前性能还要好的触觉传感器正处在试验阶段。希利斯触觉传感器如图 22-33 所示。脉冲红外光电系统也可用于感知判断。

温度传感器是通过热电偶与热敏电阻完成检测的（见图 22-34）。

位移传感器通过电容、电感和电阻完成检测，如图 22-35 所示。应变仪是一种可检测机械运动的装置，在一些情况下也可用于检测重量或力。速度传感器可通过转速计或光电管完成检测（见图 22-36）。扭矩传感器可做出过 - 不过的决策。

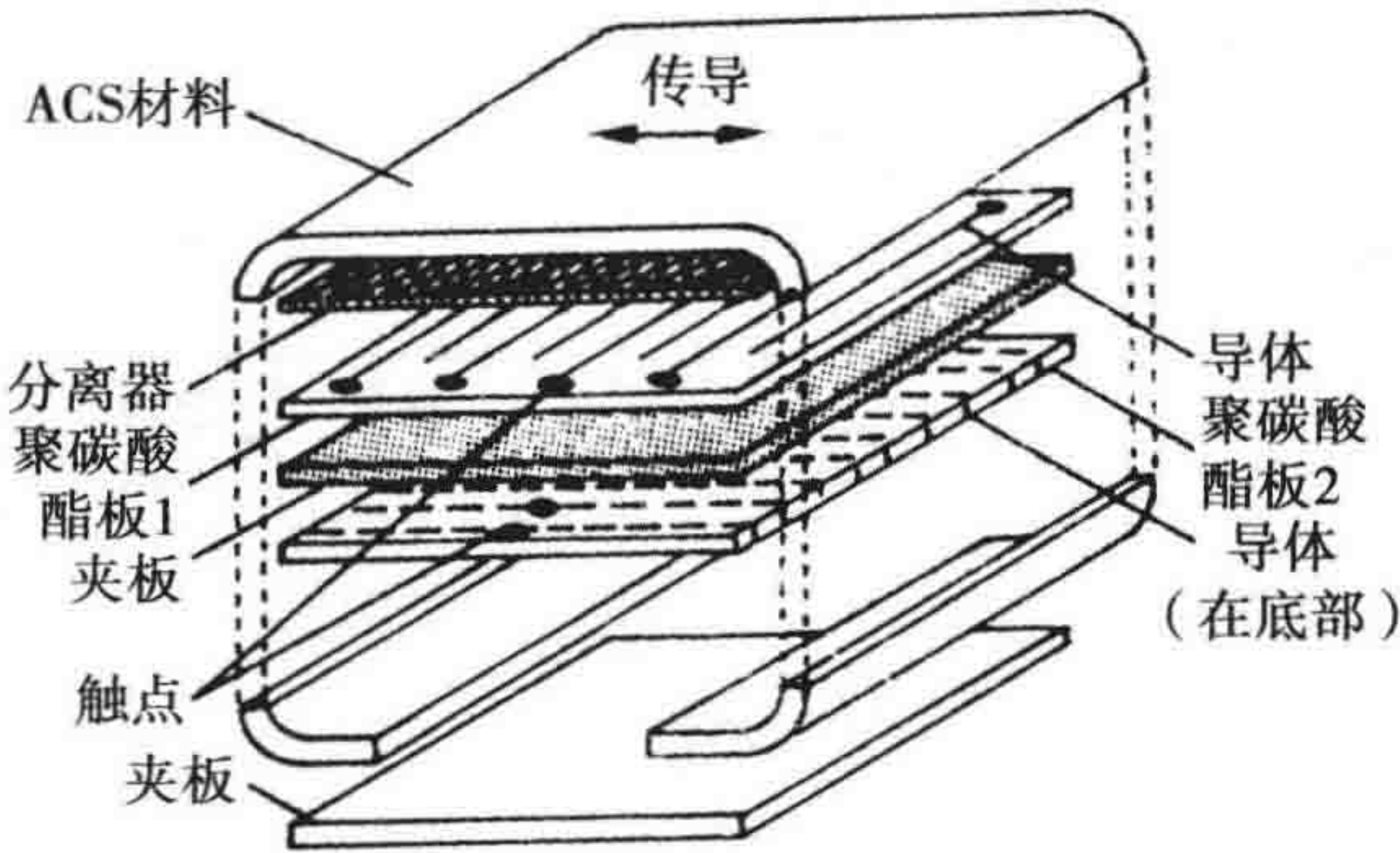


图 22-33 希利斯触觉传感器

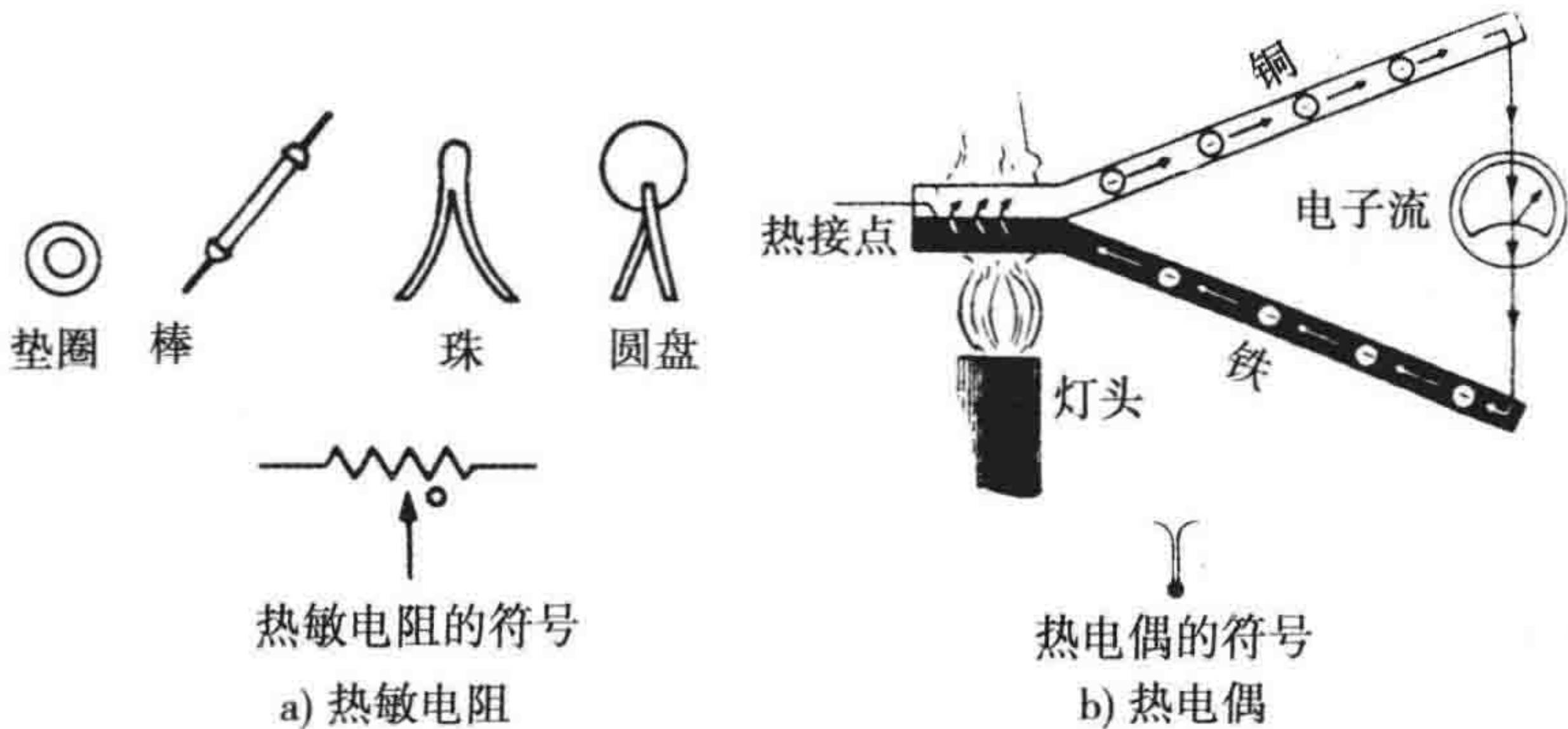


图 22-34 温度传感器



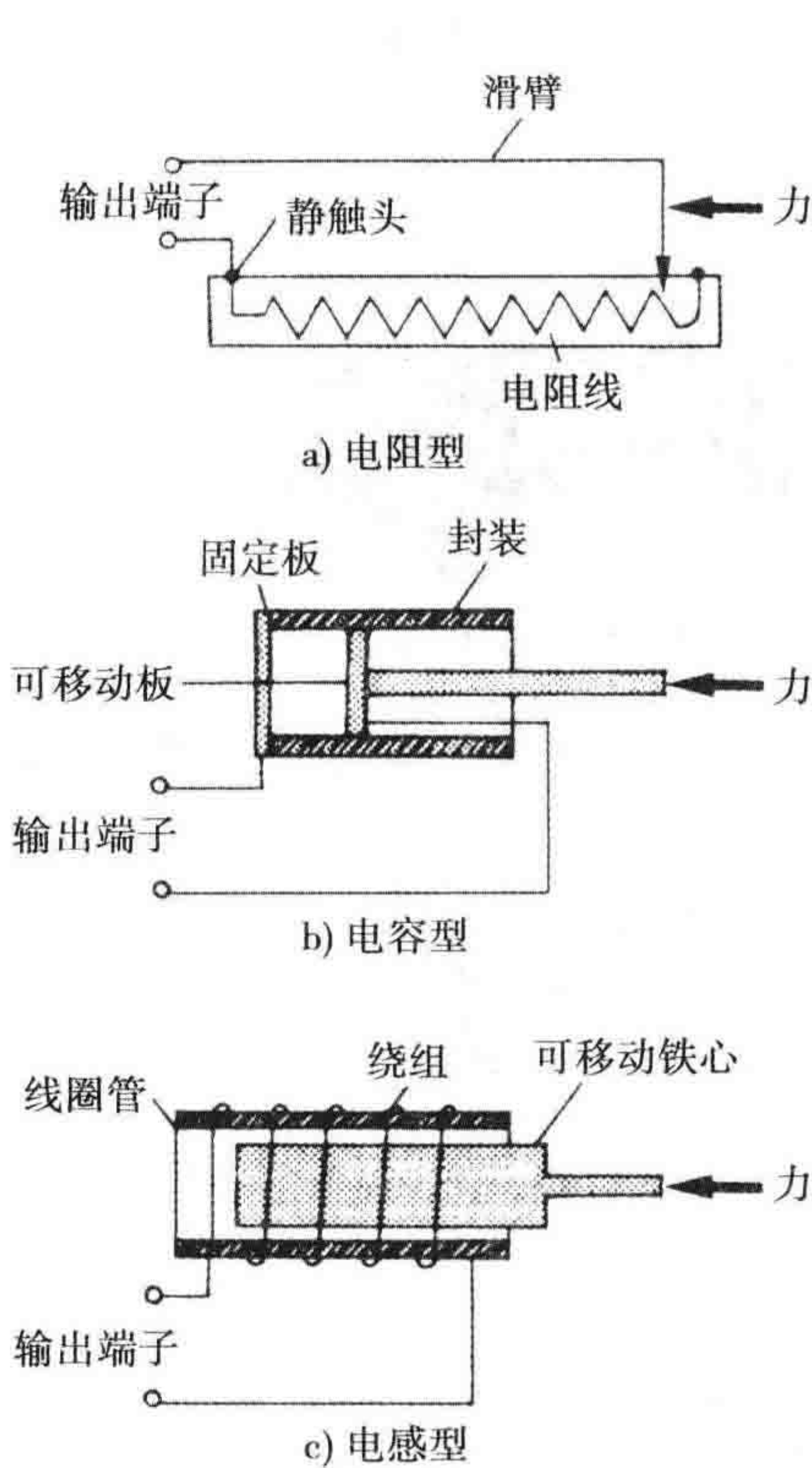


图 22-35 位移传感器

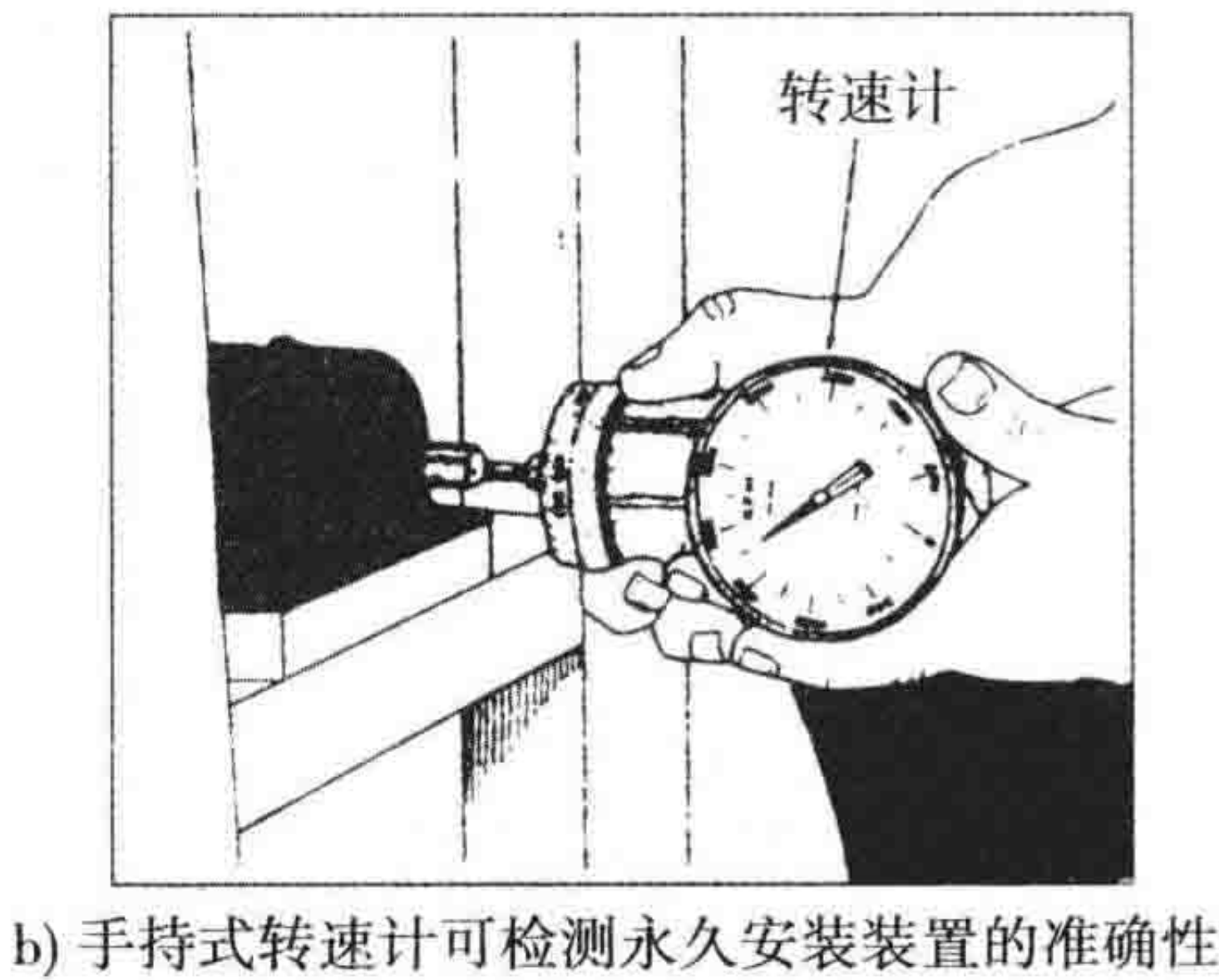
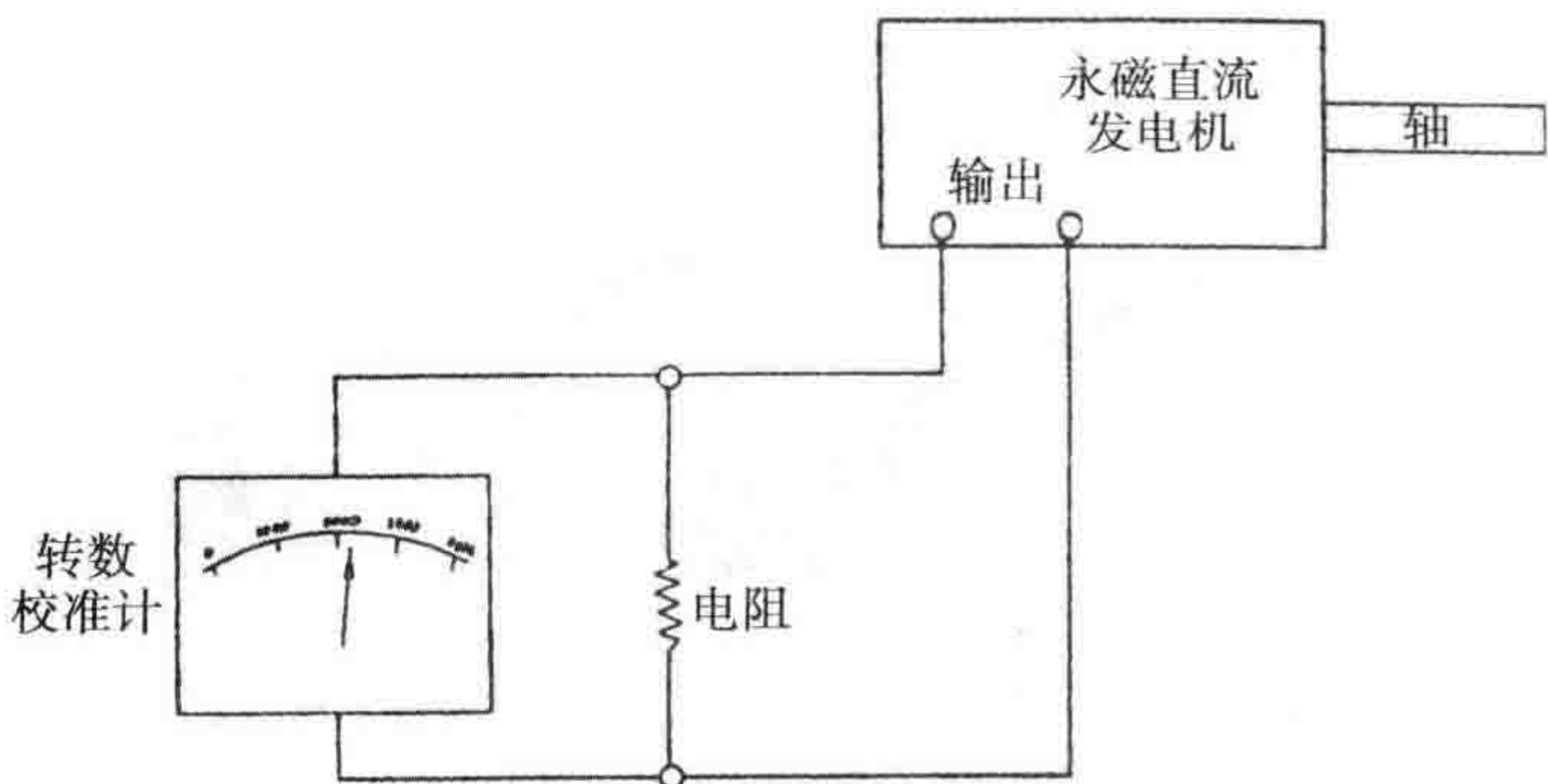


图 22-36 转速计

调整与处理变量可检测终端执行器的碰撞，并做出决策，以便不会卡住终端执行器，它们可协调两个或多个机械臂。

机器视觉系统可以对零件进行识别与确认，也可以对零件进行检测与定向。对于这一领域的检测也会使用纤维光学技术（见图 22-37）。

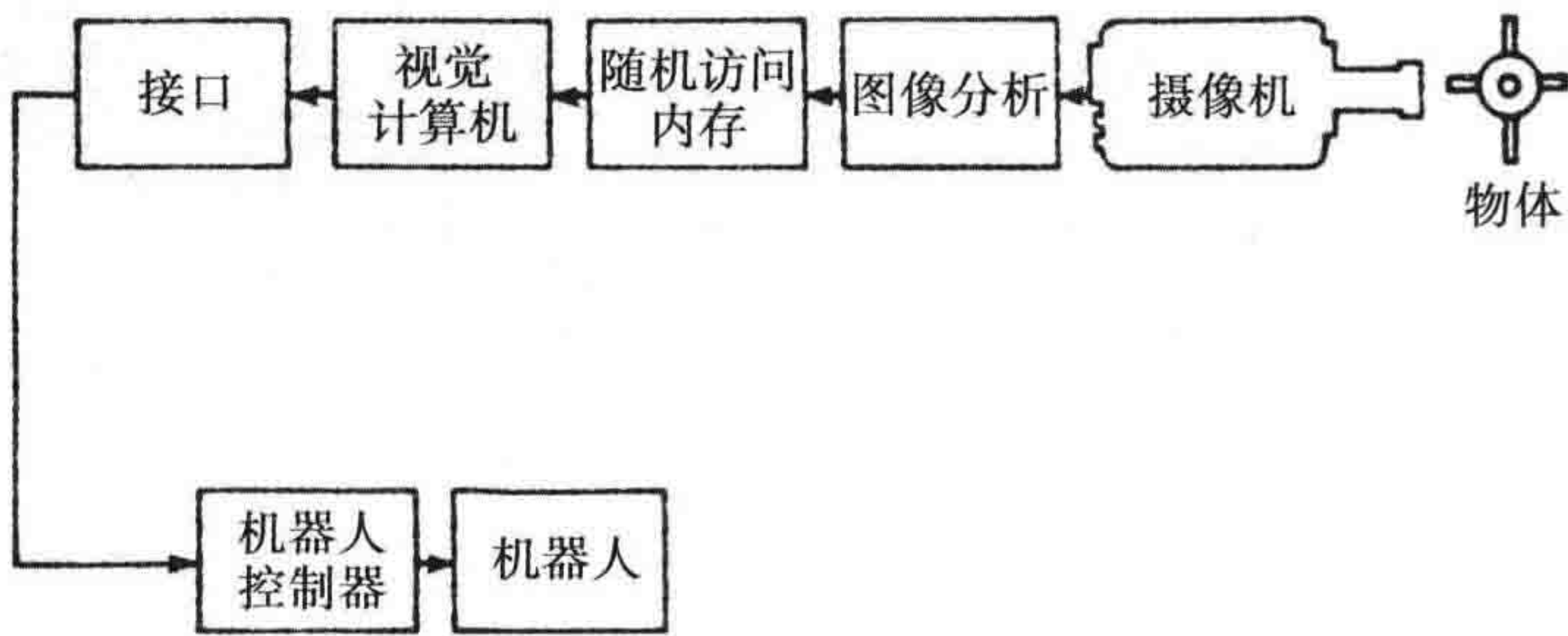


图 22-37 机器视觉系统 (MVS)

22.13 机器人动力

机器人需要动力以完成工作，动力源可能是单一的，也可能是电能、液压以及气压 3 种动力源的组合（见图 22-38）。

22.14 电动机

单相与三相电动机可用来移动重载。单相电动机包括分相电动机、电容起动电动机与罩



极电动机。罩极电动机通常为电扇与通风设备提供动力。分相电动机带载起动时效果很差，但是电容起动电动机的起动性能却很好，可为低电压（120V/240V）的压缩机与类似装置供电。三相电动机是可靠性最好的电动机之一，是工业生产中的主力军。通过图 22-39 可以了解电动机更多的特性。图 22-40 所示为常用于机器人中的单相电动机与三相电动机。

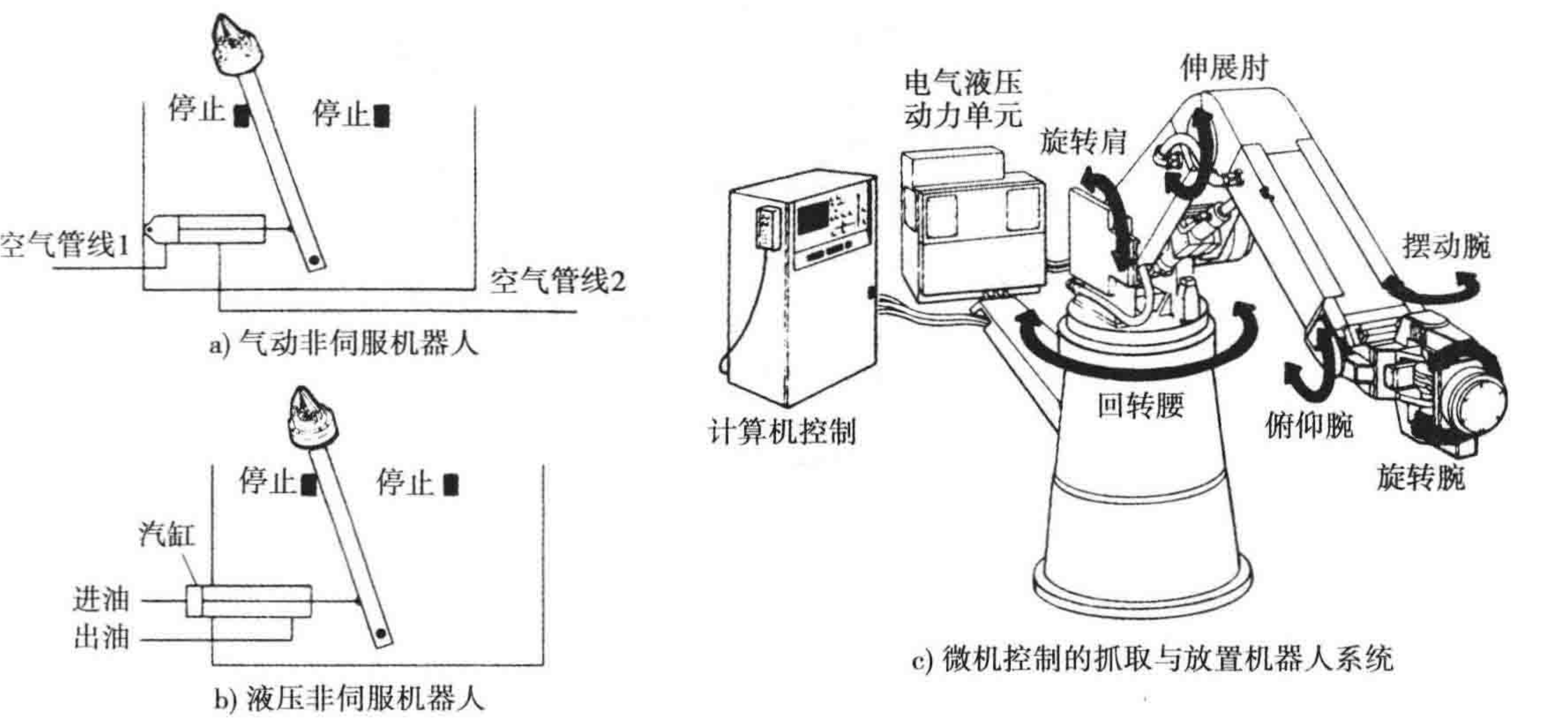


图 22-38 机器人的 3 种动力源

电动机特性

	电 源	工 作 状 态	典型的反转特性	速 度 特 性	典型的起动转矩
多相	交流	连续	停转 / 旋转	相对不变	175% 及以上
分相同步	交流	连续	仅停转	相对不变	125%~200%
分相非同步	交流	连续	仅停转	相对不变	175% 及以上
并联-串联变换器 (PSC), 非同步, 高转差率	交流	连续	停转 / 旋转↑	变化的	175% 及以上
并联-串联变换器, 非同步, 正常转差率	交流	连续	停转 / 旋转↑	相对不变	75%~150%
并联-串联变换器, 磁阻, 同步	交流	连续	停转 / 旋转↑	不变的	125%~200%
并联-串联变换器, 磁滞, 同步	交流	连续	停转 / 旋转↑	不变的	125%~200%
罩极式	交流	连续	单向	不变的	75%~150%
串联	交流 / 直流	连续 / 间歇	单向	变化的↓	175% 及以上
永磁式	直流	连续	停转 / 旋转§	可调	175% 及以上
分励式	直流	连续	停转 / 旋转	可调	125%~200%
并励式	直流	连续	停转 / 旋转	可调	175% 及以上
外部手臂	直流	连续	停转 / 旋转	可调	175% 及以上
印制电路	直流	连续	停转 / 旋转	可调	175% 及以上
无刷直流	直流	连续	停转 / 旋转	可调	75%~150%
直流步进	直流	连续	停转 / 旋转	可调	■

\* 百分比与满载额定转矩相关。分类是大概的，应用于小型电动机中。  
■ 依赖于负载惯性与电子驱动电路。  
· 通常是单向的，也可是双向的。  
↑ 在条件允许下可反转：当没有过载运行时，通常可反转。  
↓ 可调，根据负载而变化。  
§ 经过停转后，外表温度低至 0℃ 时可以反转。

图 22-39 电动机的特性 (Courtesy of Bodine Electric Company 产品)



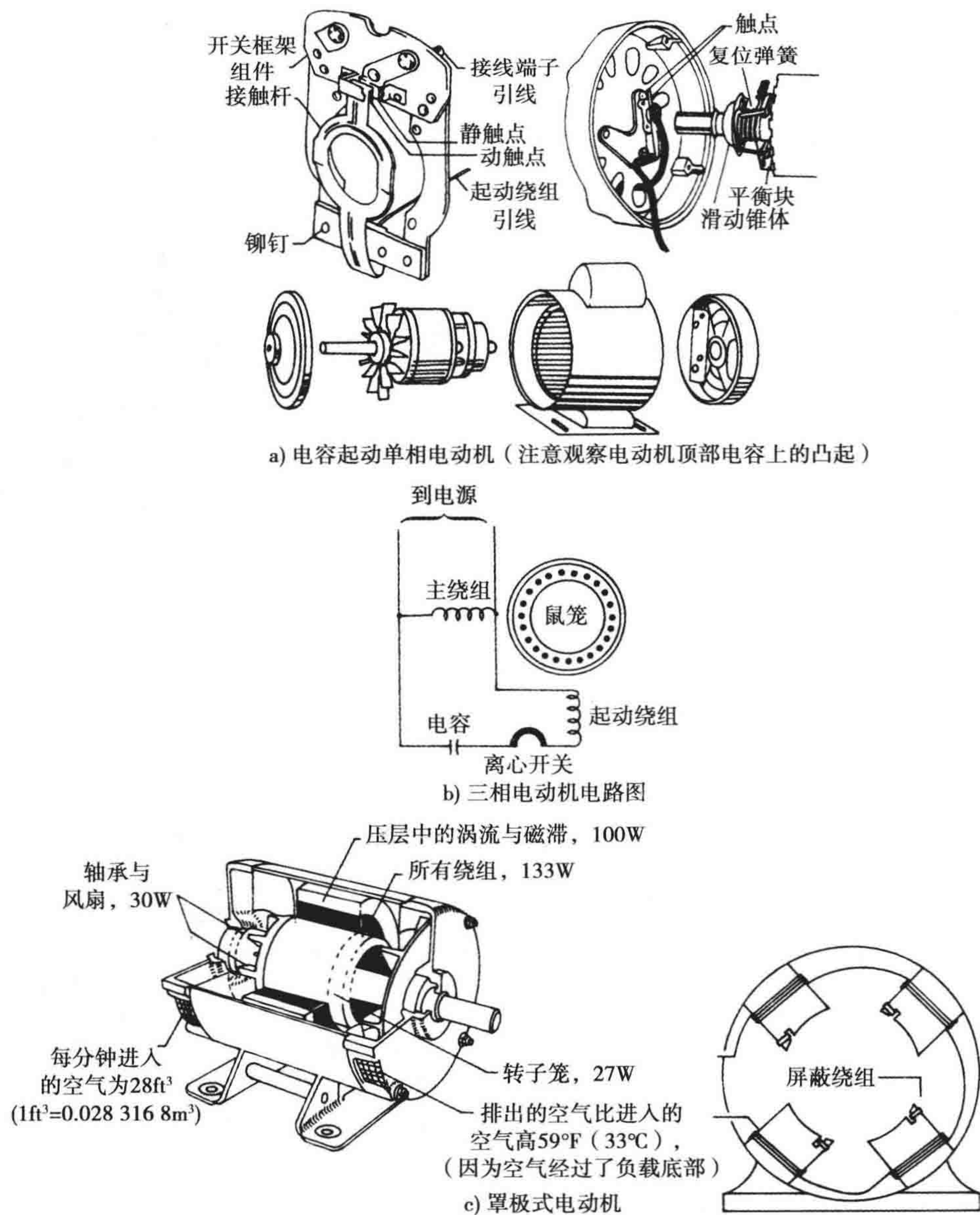


图 22-40 电动机

22.15 伺服控制机器人

伺服控制机器人的功能比非伺服控制机器人的功能要强，可上下前后往返移动，可在作业区域内的任意一处停下。非伺服机器人通常由限位开关控制，或者每次摆动到撞停止块。非伺服控制机器人有电动型、气动型以及液压型，如图 22-41 所示。伺服机器人比非伺服机器人具有的主要优势在于反馈，如图 22-42 所示，反馈将操纵器每时每刻的位置信息传给控制器。

22.16 执行器

执行器是驱动机器人的电动机、汽缸或其他机械设备，它们主要为机械臂的每个轴向提



供动力。有了执行器机器人才可以移动。执行器有气动型、电动型以及电动液压型。

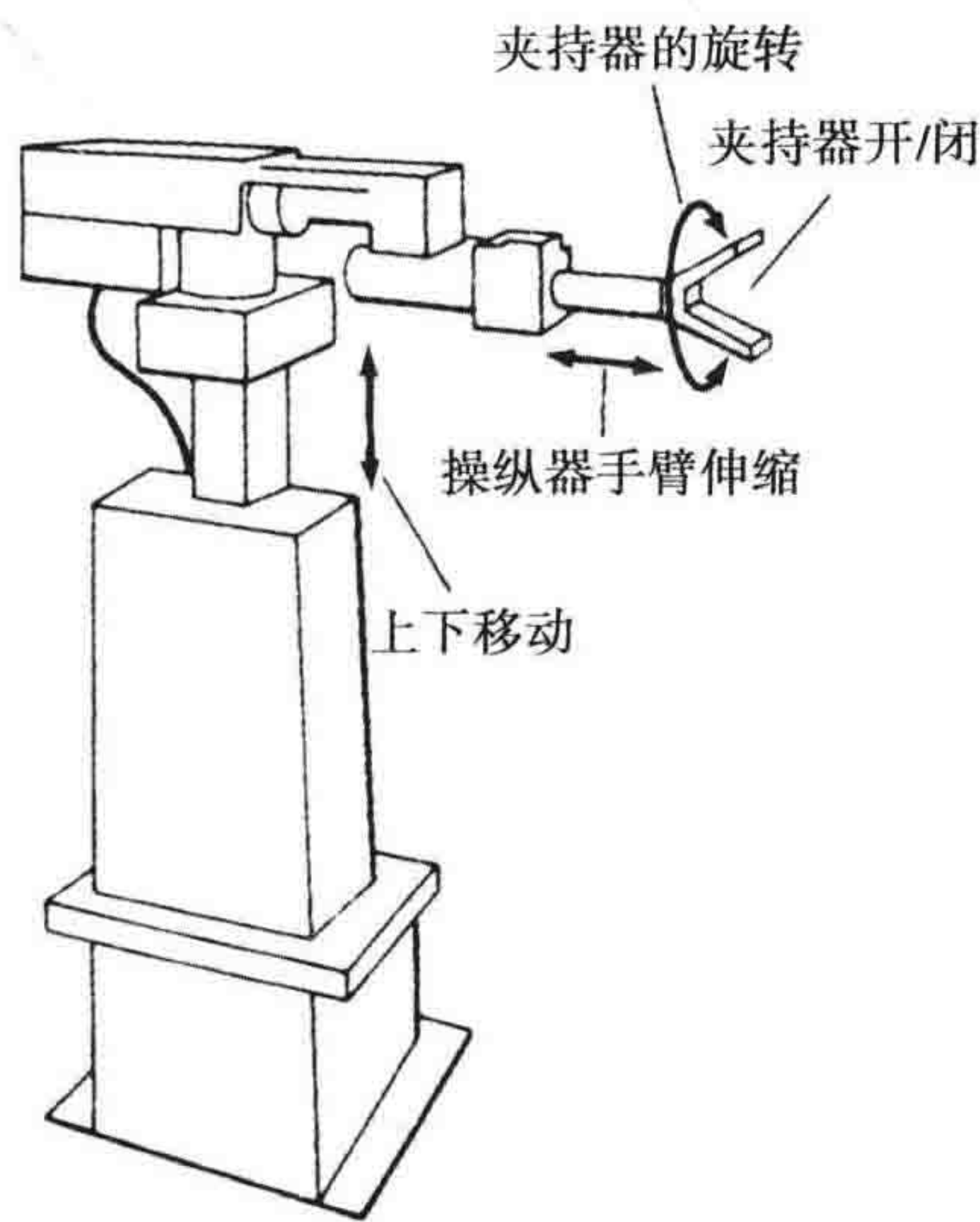


图 22-41 非伺服低端机器人

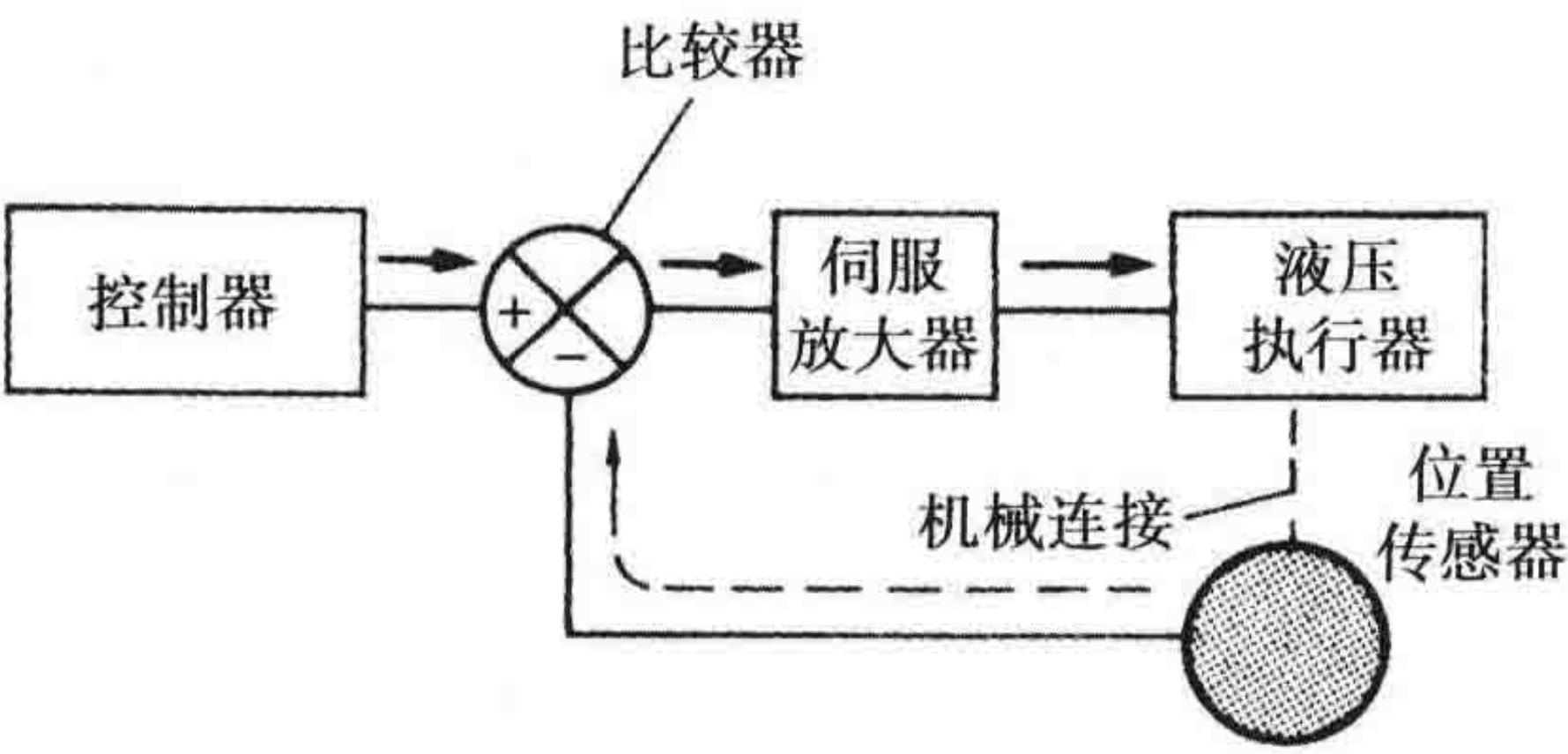


图 22-42 反馈系统

22.17 控制器

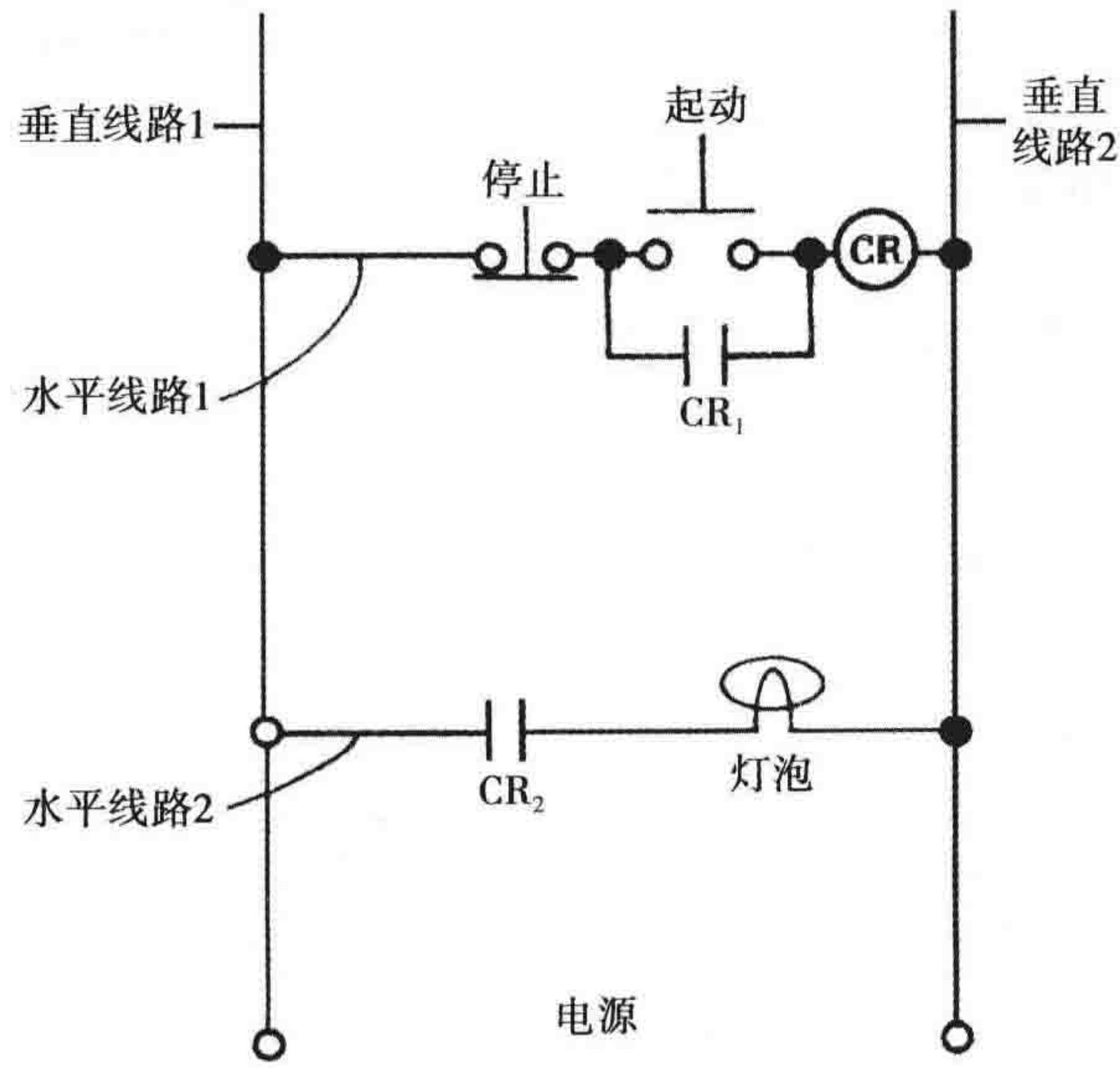
控制器可分为 6 种类型：

- 磁鼓型
- 空气逻辑型
- 继电器逻辑型
- 可编程型
- 基于微型处理器的微机型
- 微机型

磁鼓控制器、空气逻辑控制器以及继电器逻辑控制器随着集成电路芯片的出现逐渐被淘汰了，集成电路芯片可存储或撤销为机器人所编写的程序。图 22-43 所示的梯形图就是可编程机器人所使用的电路。计算机作为一个设备可对机器人进行顺序控制和定时控制。计算机代替继电器完成切换操作，继电器为螺线管通电或断电，而螺线管可使空气或液压机中的液体通过或排出。这个梯形图是螺线管和定时器的电气控制原理图。

22.17.1 基于微型处理器的控制器

集成电路芯片的发展促进了基于微型处理器的控制器的发展，这种处理器可以存储序列，在需要时还可以召回使用。这使得不用物理方式调整电路而改变程序成为了可能（见图 22-44）。



CR =控制继电器的线圈  
 =灯泡  
CR<sub>1</sub>=控制继电器的触点1  
CR<sub>2</sub>=控制继电器的触点2  
 =常开触点 (NO)  
 =常闭触点 (NC)  
按下起动按钮，连接控制继电器线圈的电路接通。线圈通电闭合CR<sub>1</sub>与CR<sub>2</sub>。这会使CR保持通电，直到按下停止按钮，断开电路。当继电器通电时，CR<sub>2</sub>触点也会闭合，灯亮表示通电状态。

图 22-43 梯形图



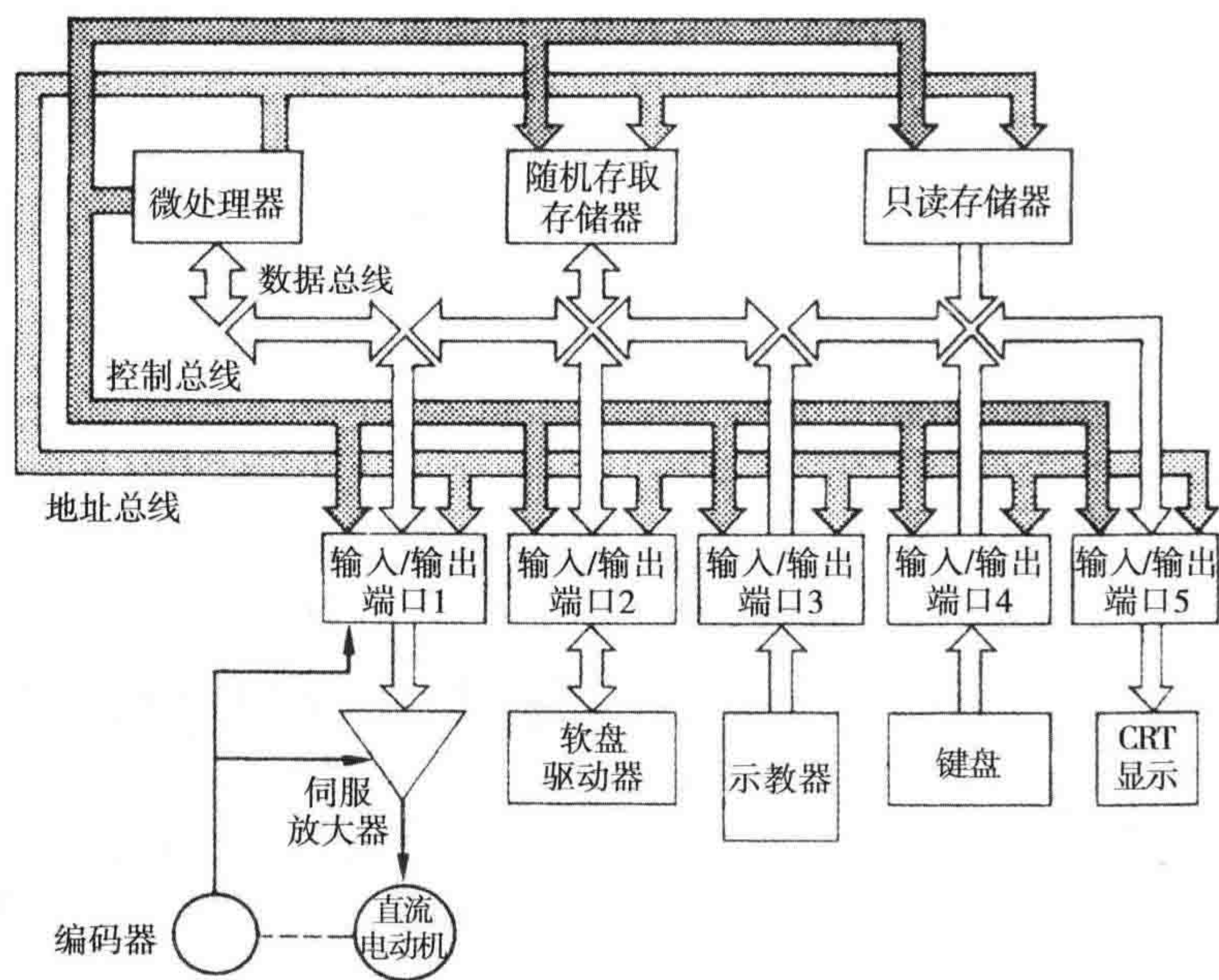


图 22-44 微型处理器框图

图 22-45 所示为微计算机系统，并标出了主要部件。（厂家与型号不同，计算机控制器的机柜尺寸与形状也会不同。）

22.17.2 示教器

示教器是给机器人编程的一种方法，可对点对点抓取与放置机器人以及用于涂装与焊接的连续路径机器人进行编程（见图 22-46）。引导操纵器通过设定的路径可以完成编程工作。路径存储在存储器中，每当程序重复时就会再现这一路径。若一台计算机恰当地连接到了机器人的控制器上，那么通过计算机可以完成编程工作。若需要改变机器人的工作，程序的修改将会十分简单。利用一些方法与系统可完成计算机与机器人的配合。如图 22-47 所示，微处理器是一种控制机器人的装置。非常智能的机器人可以读懂高级语言。几乎所有的机器人厂商都开发了属于自己的控制器语言。较常用的语言有 VAL、HELP、AML、MCL、RPL 以及 RAIL。BASIC 与 COBOL 也用于一些控制器中。

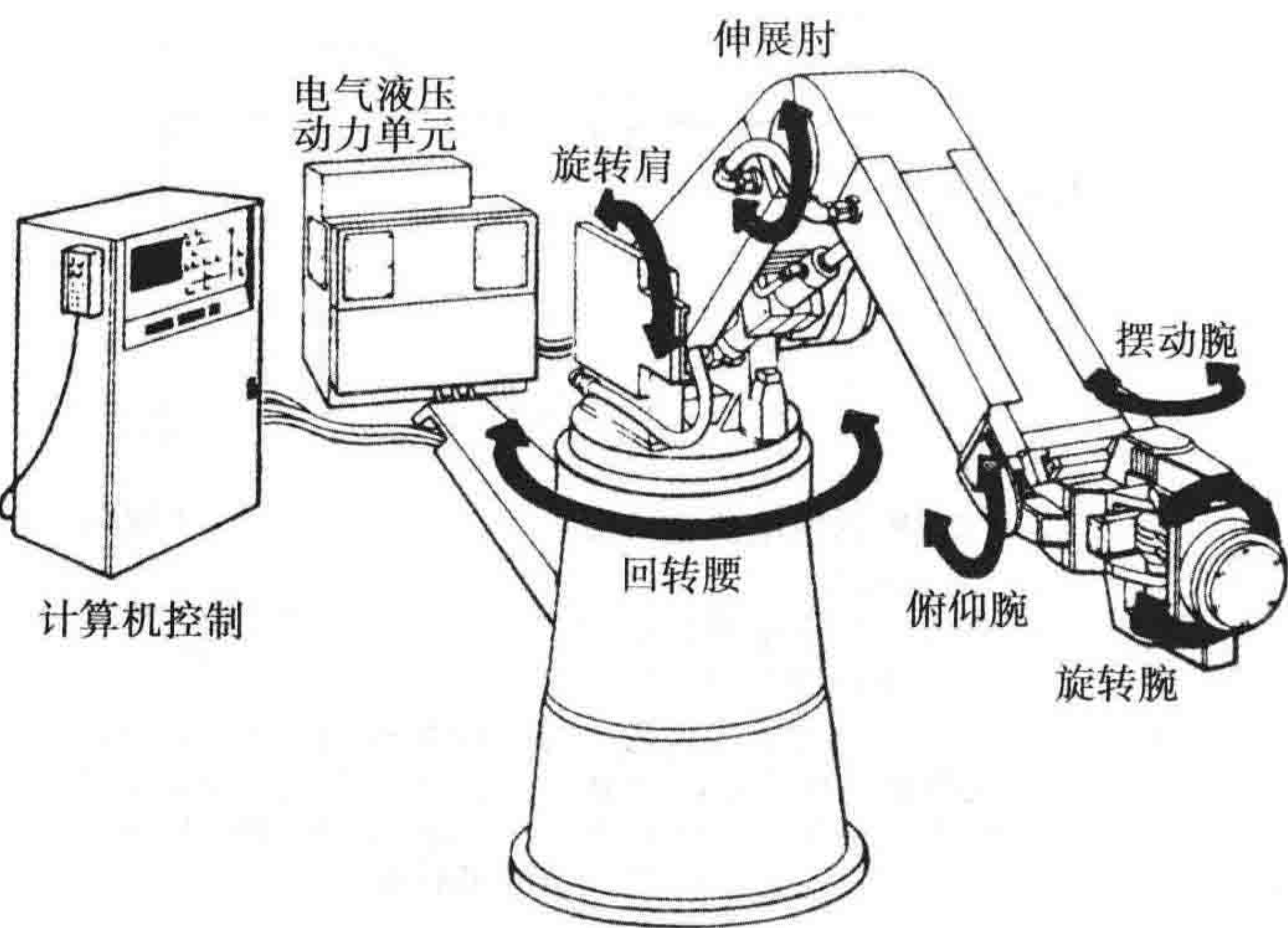


图 22-45 带微型计算机的机器人系统（Cincinnati Milicron 产品）

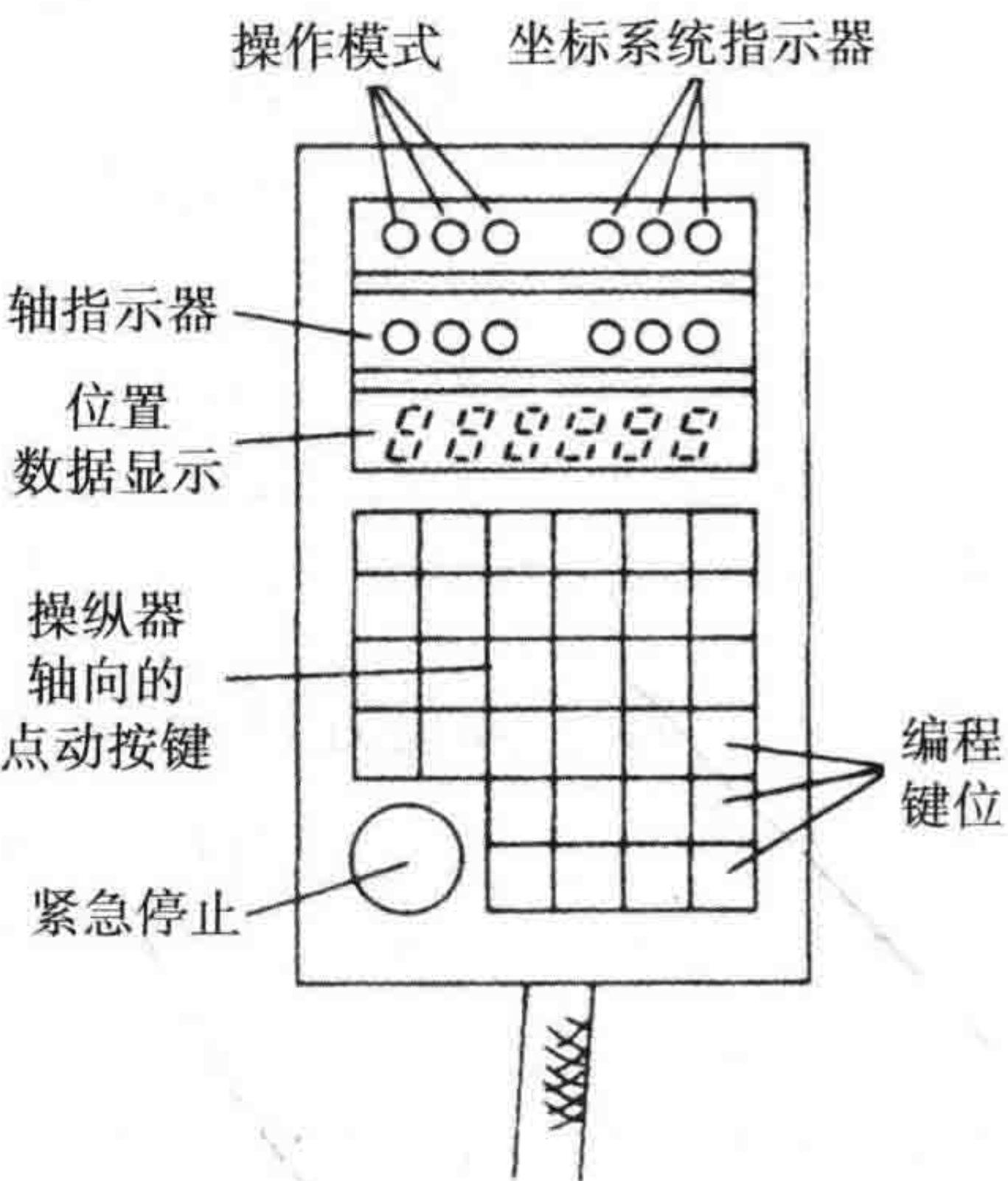
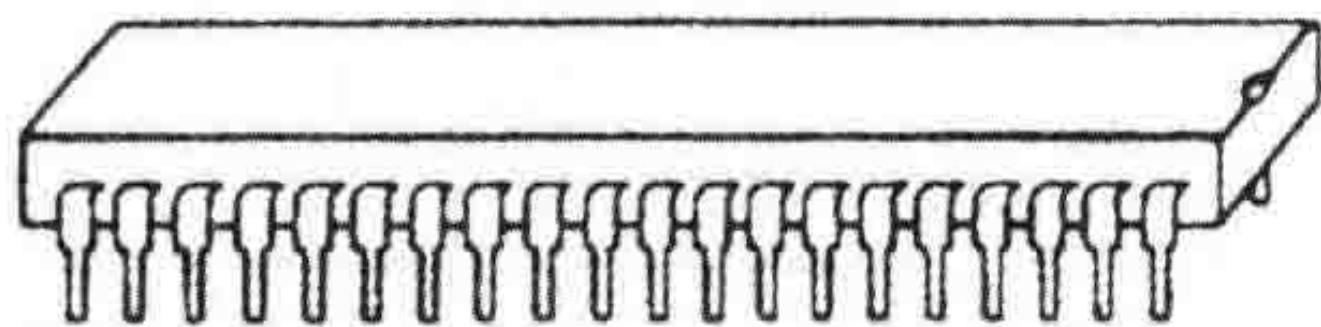
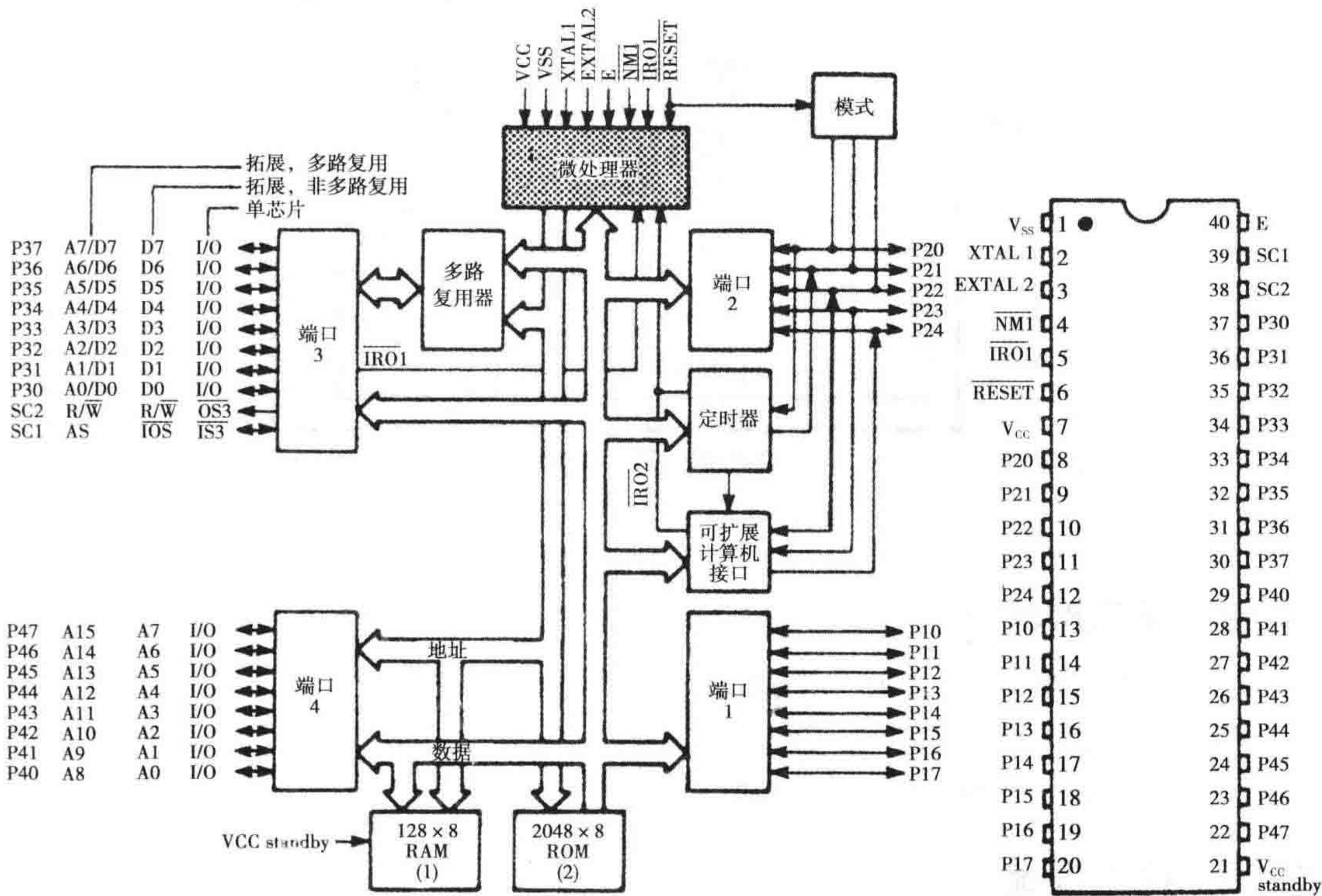


图 22-46 示教器





a) 8088微处理器，一种普遍的16位微处理器芯片



b) M6801微型计算机系列框图

c) MC680芯片引脚图

图 22-47 集成电路芯片（Motorola 产品）

22.17.3 计算机编程控制机器人

机器人可通过计算机编程来控制，编写的程序软件可以存入磁盘、磁带或其他介质中，然后载入机器人中，这样在编程过程中机器人不必停止工作。

接口技术可以使机器人与处于工作台上的其他部分的控制器进行通信，这样通过接口的连接，微型处理器控制的机器人可以与其周围的其他装置进行通信（见图 22-48）。

22.17.4 软件与计算机代码

ASCII 码是键盘与机器人计算机或微处理器进行通信的方式。当计算机与其控制的设备距离不到 50ft（1ft=0.304 8m）时，可以使用并行接口。而长距离传输时，设备之间则应使用串行接口。信息可能以电压或电流变化的形式传输。RS-232C 标准与 TTL 标准依赖于电压的变化，而 60mA 与 20mA 标准依赖于电流的变化。控制器有输入端口以便与多种计算机控制装置相连接，RS-232C 和 RS-422 就是两种接口标准。计算机接口可以使机器人系统的程序员离线编写程序。



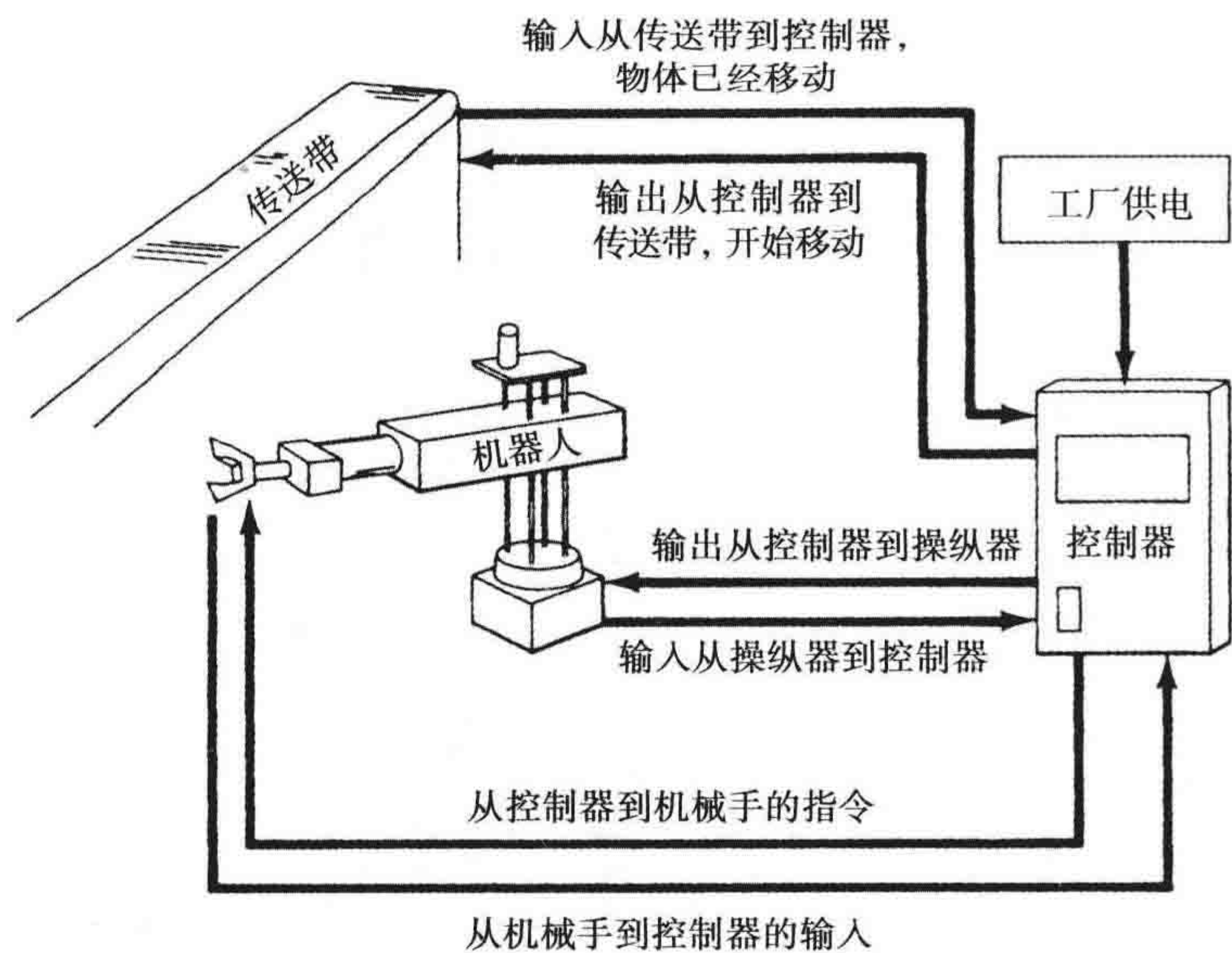


图 22-48 接口连接 (Robotics 产品)

## 22.18 传感器输入

需要将传感器信息转化为数字信号计算机才可以处理。控制器的接口可连接传感器。程序接口有两种：一种是服务请求，另一种是机器人请求。这两种接口都与外部设备相互作用，在数据传输或输入端口接收数据时起到控制的作用（见图 22-49）。

## 22.19 视觉系统

视觉系统可为机器人控制器提供待处理零件的位置、方向以及类型等方面的信息。机器视觉系统可用于为了检查与分类零件而进行的识别与确认。它采用非接触式测量方法为机器人控制器提供零件位置与方向的信息。计算机要想识别视觉摄像头看到的零件，常用到边缘检测与聚类两种方法（见图 22-50 与图 22-51）。

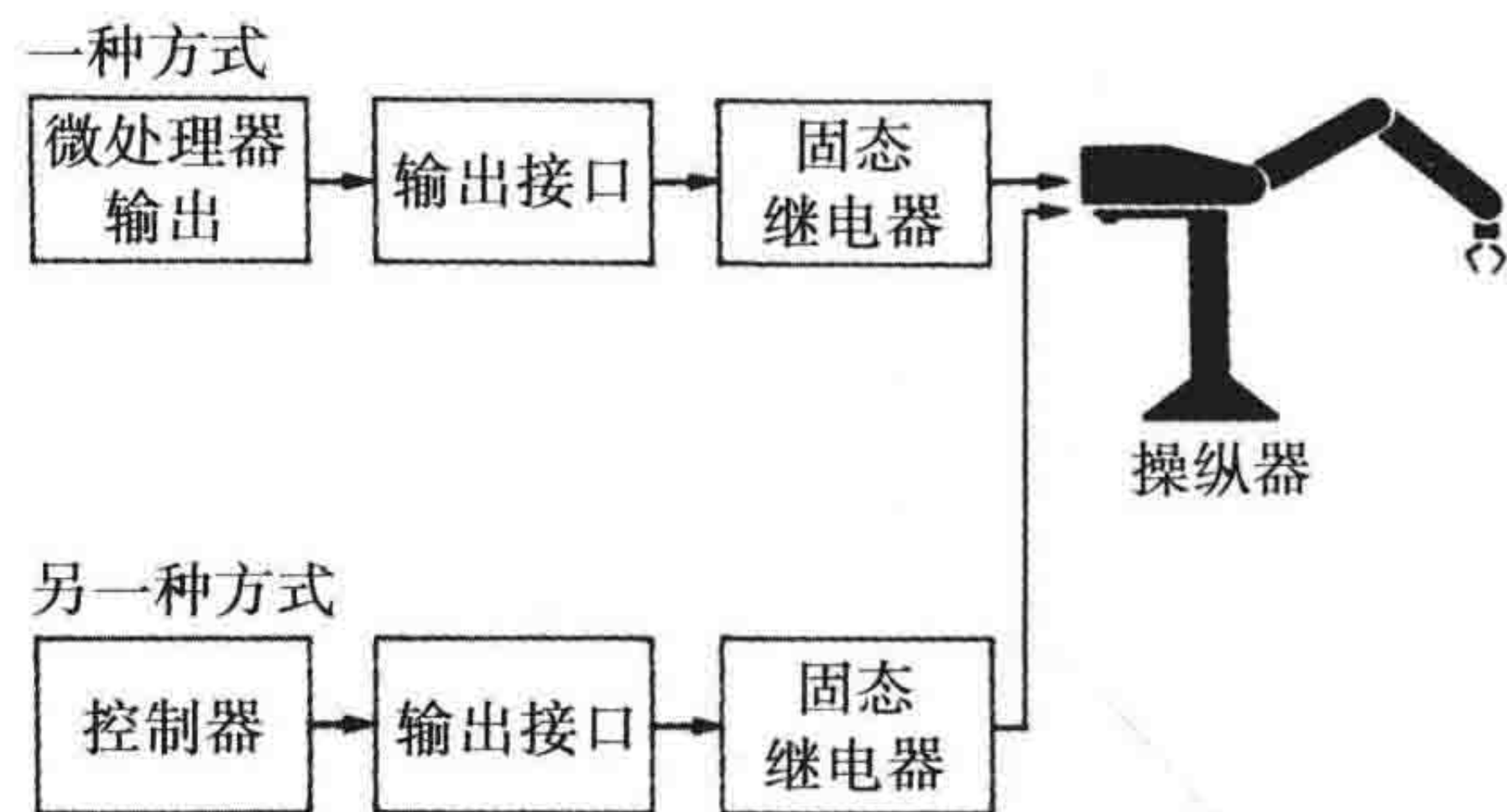
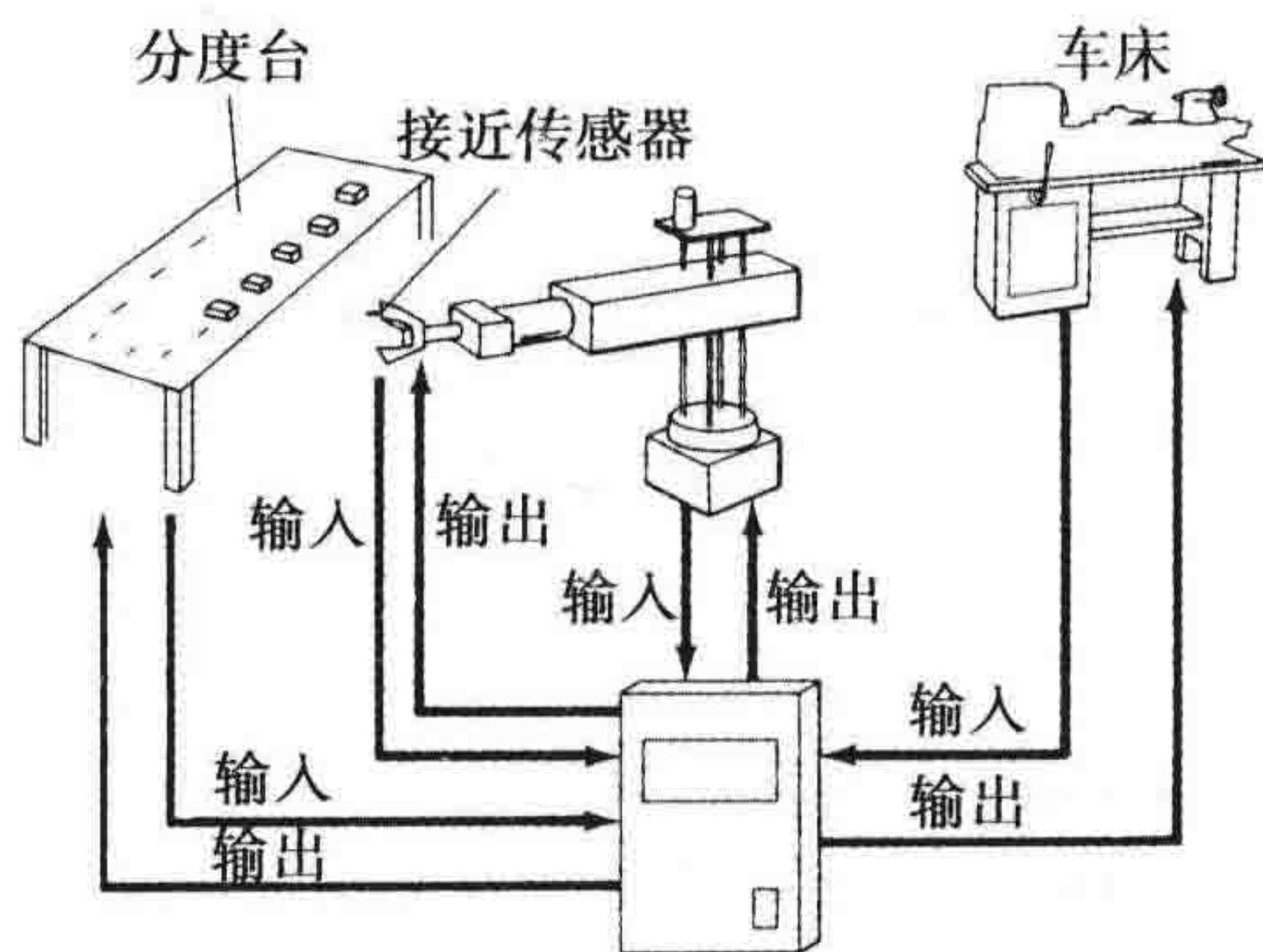


图 22-49 工作单元操作时的信息处理 (Robotics 产品)

图 22-50 微处理器输出或控制器接口

## 22.20 零件加工

大量零件由机器人加工很容易，机器人可将零件从装配线取下，并放置到箱子里或盒子



中（装垛），或者是从盒子中取出、从货板上取下（卸垛）。

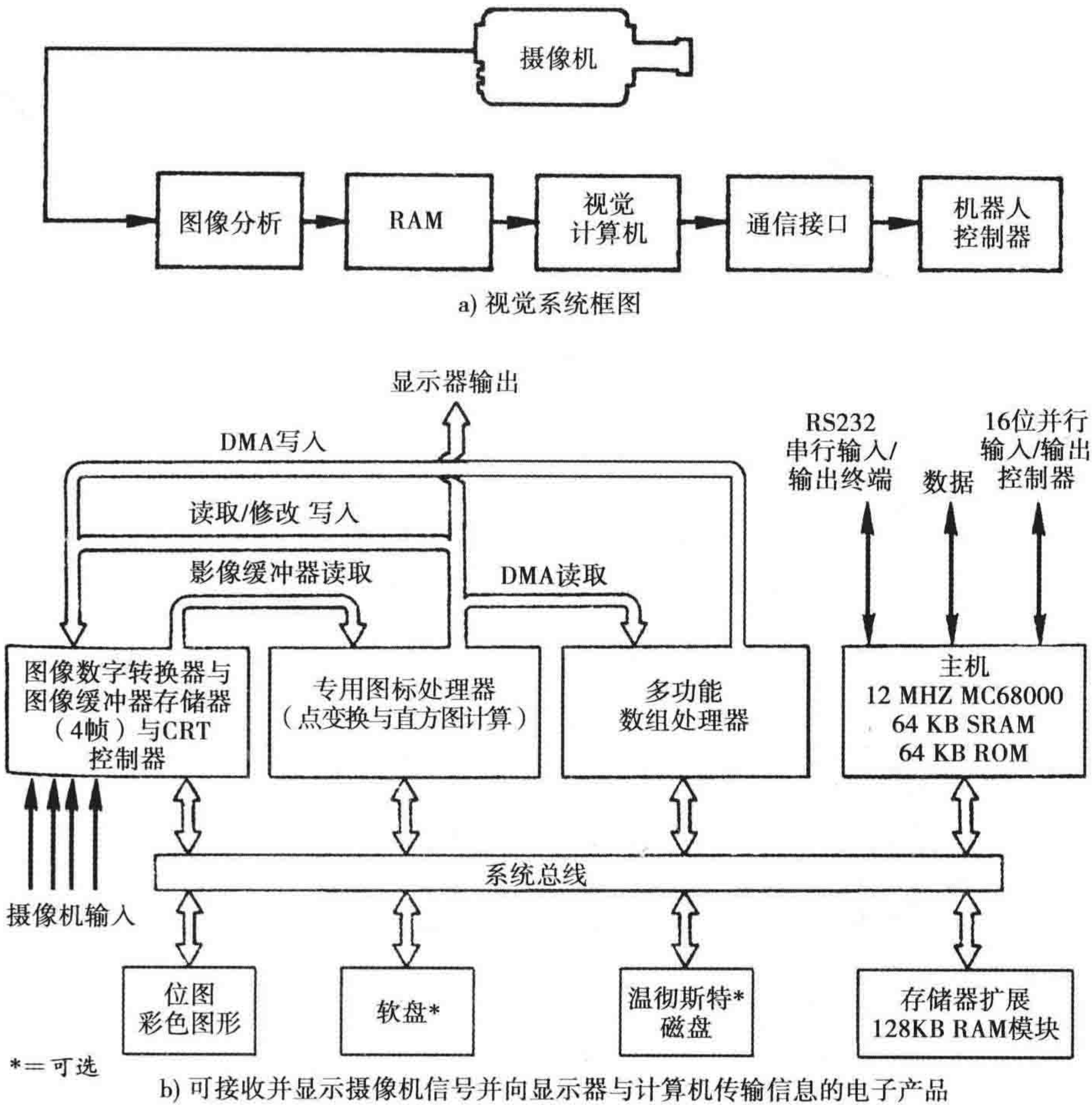


图 22-51 机器人的机器视觉系统（International Robomation 产品）

22.21 路径跟踪

机器人沿着特定的路线移动并执行任务，这样就可以完成路径跟踪的工作了。工序流程是以有序和定时的方式移动零件与物料的。机器人也可以完成装配工作，从钻孔、铆接、打磨、去毛刺、研磨到抛光，都可由机器人完成，机器人也可以在无人监督时完成部分或全部产品的组装工作。

喷涂与焊接是机器人可做的两种增值操作，机器人很适合进行这两种操作，也很容易实现自动检验与测试，机器人可以不知疲倦地完成这些工作，并且可以对产品进行 100% 的监督，从而获得高品质的产品。

22.22 计算机集成制造

未来的计算机集成制造（CIM）工厂会与现在的工厂有很大区别。CIM 工厂会将传统科技或基于过程的科技与未来新兴的软件或基于系统的科技进行整合。CIM 的 7 大目标有助于实现成本控制、创新和集成的流程、完全有效地设计与控制系统，见图 22-52 与图 22-53。



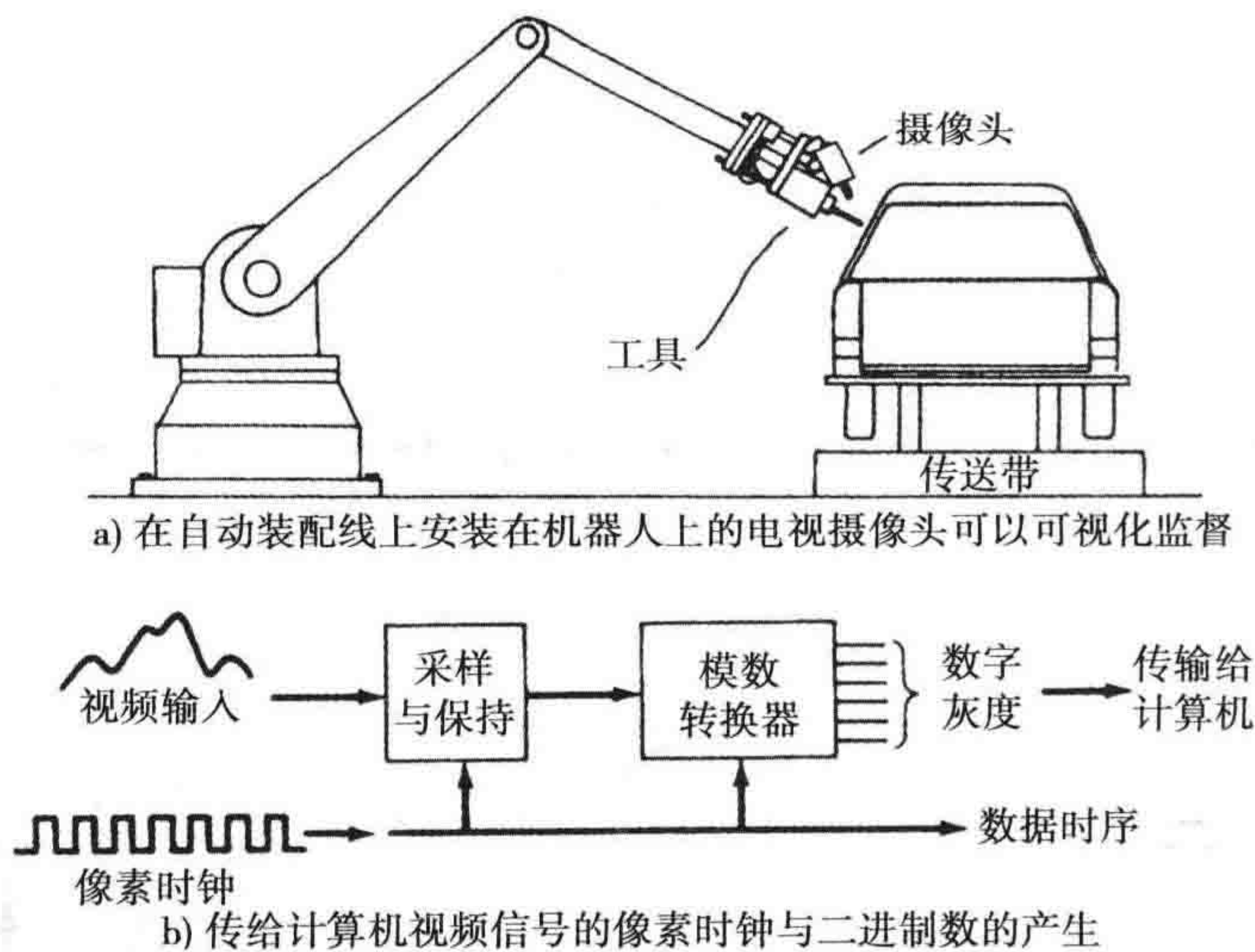


图 22-52 边缘检测过程示例 (Robotics 产品)

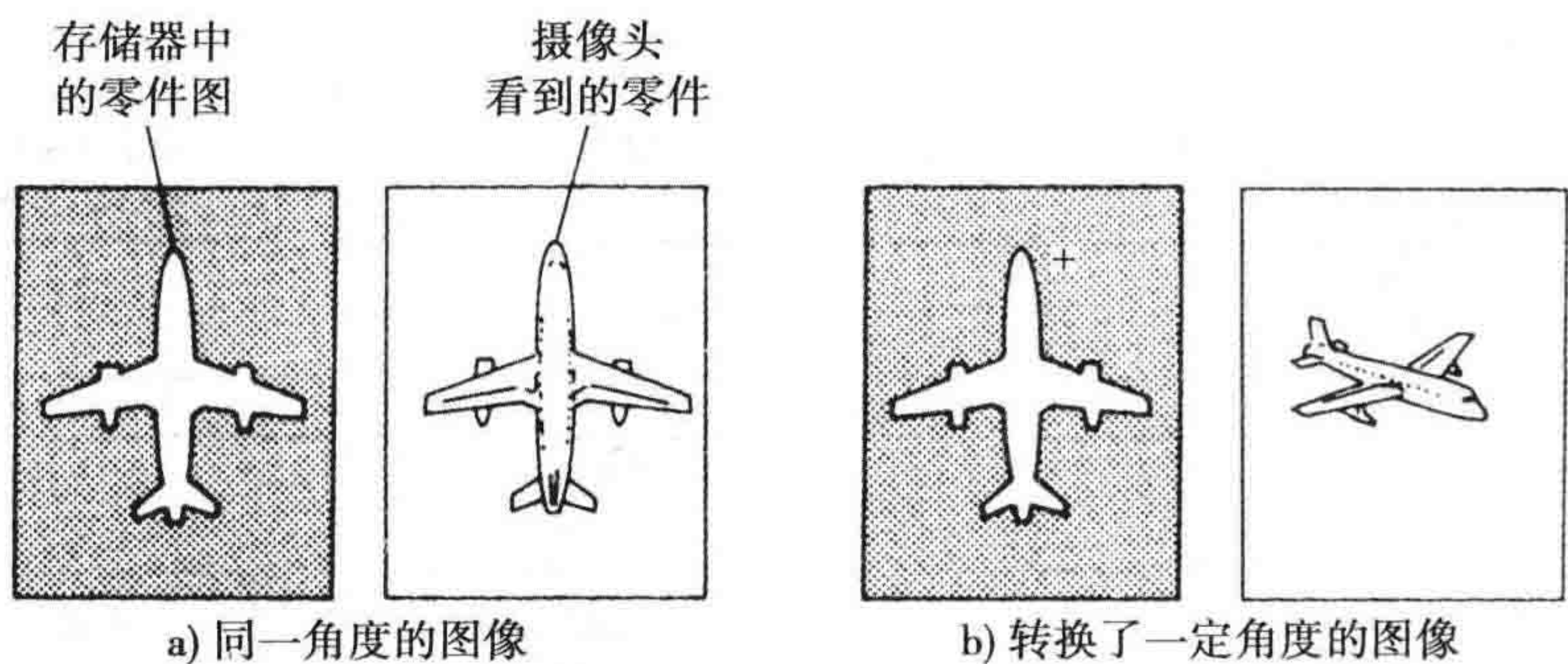


图 22-53 物体识别的模板法 (Robotics 产品)

22.23 思考题

1. 机器人是什么?

2. 机器人系统没有人类监督可以运行吗?

3. 机器人是什么时候产生的?

4. 微处理器被称为机器人的\_\_\_\_\_。

5. 夹持器是什么?

6. 操纵器是机器人的基本部件之一, 另外两种是什么?

7. 机器人的底座也叫\_\_\_\_\_。

8. 操纵器实际上是肩部、手臂、腕部以及\_\_\_\_\_的组合。

9. 夹持器表示哪一部分?

10. 影响范围或工作区域叫做什么?

11. 操作中最简单的坐标系是什么?

12. 笛卡尔坐标系机器人具有什么形状的作业区域?

13. 哪种坐标机器人具有球型的作业区域?

14. 机器人的驱动系统如何分类?

15. 气动驱动系统利用什么作为动力?

16. 终端执行器是什么?
17. 控制器如何分类?

18. 机器人使用的 3 种驱动分别是什么?

19. 低端技术或中端技术的机器人使用了哪种开关?

20. 传感器是如何分类的?

21. 哪种传感器可对接触响应?

22. 如何保护工作区域内的人员免受机械臂的伤害?

23. 接近传感器对什么有响应?

24. 哪种传感器会对湿度、温度与振动有响应?

25. 如何检测温度?

26. 使用哪种机器人电动机可以移动重载?

27. 如何控制非伺服机器人?

28. 控制器的 6 种类型分别是什么?

29. 什么使基于微处理器的控制器成为可能?

30. 说出 6 种常用的机器人语言。

31. ASCII 码作为\_\_\_\_\_与机器人进行通信。

32. 哪种系统会使用边缘检测与聚类技术?

33. CIM 是什么?



## 第 23 章

# 故障排除与维修

### 23.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 解释预防性维修延长系统的无故障运行时间的工作原理。
2. 解释如何避免意外的电击。
3. 检修直流电动机与交流电动机。
4. 电源扰动的排查。
5. 利用万用表（VOM）检修电路。
6. 利用示波器检修电路。
7. 检修继电器。
8. 检修固态电动机控制装置。

### 23.2 检修与电工

故障排除与维修（通常简称为检修）是电工执行的又一项任务，检修会检验电工观察周围事物的能力以及理解事物工作原理的能力。避免故障最好的办法之一就是将一些项目的检查当作例行程序，在故障变得严重之前将其消除，以免引发火灾、损害或人员伤亡。电气故障有很多种，而所有的线路连接与设备都可能存在潜在的问题。所有装置、设施以及电路都应当正确接线，但实际情况并不总是这样。

最大的问题之一就是检修电动机，检修表会对现场人员更清楚地观察到各种情况有所帮助。教科书中的检修知识只能帮助你识别出逻辑问题，而现场问题在教科书中并不一定都有详细的解释，所以优秀的技术人员要根据实际情况做出判断，一旦找到问题，通常会很容易修正。

### 23.3 预防性维修

#### 23.3.1 潮湿区域

任何家庭或商铺的配电系统中，可能引发故障的一个因素就是潮湿。若一些地方通电电线有碰到水的危险，就应当安装防水装置。最大的问题之一是配电盘内部的水汽凝结（见图 23-1）。当地下室中的暖湿空气在立管中向上移动，并与由外部进来的使立管温度变低的冷空气接触时，水汽就会在立管内部凝结。在这种情况下，可以设置一个地下入口，或者在建筑旁安装外部立管，当立管到达配电盘的位置时再开口进入室内。入口越低越好，这样凝结



的湿气可以轻易地排出配电盘底部，不会接触到其温度较高的部位。另一个问题是生锈与腐蚀，潮湿的地方有可能出现生锈与腐蚀，这两者可能造成金属的接触问题，减少或增加接地系统的阻抗。不良接地是十分危险的（见图 23-2）。对于正确安装的 120V/240V 单相系统，其中性线电流是两根火线电流的差值。若接地线由于腐蚀或生锈而被阻断，无法与接地片相接触，和不接地面临的情况是一样的。

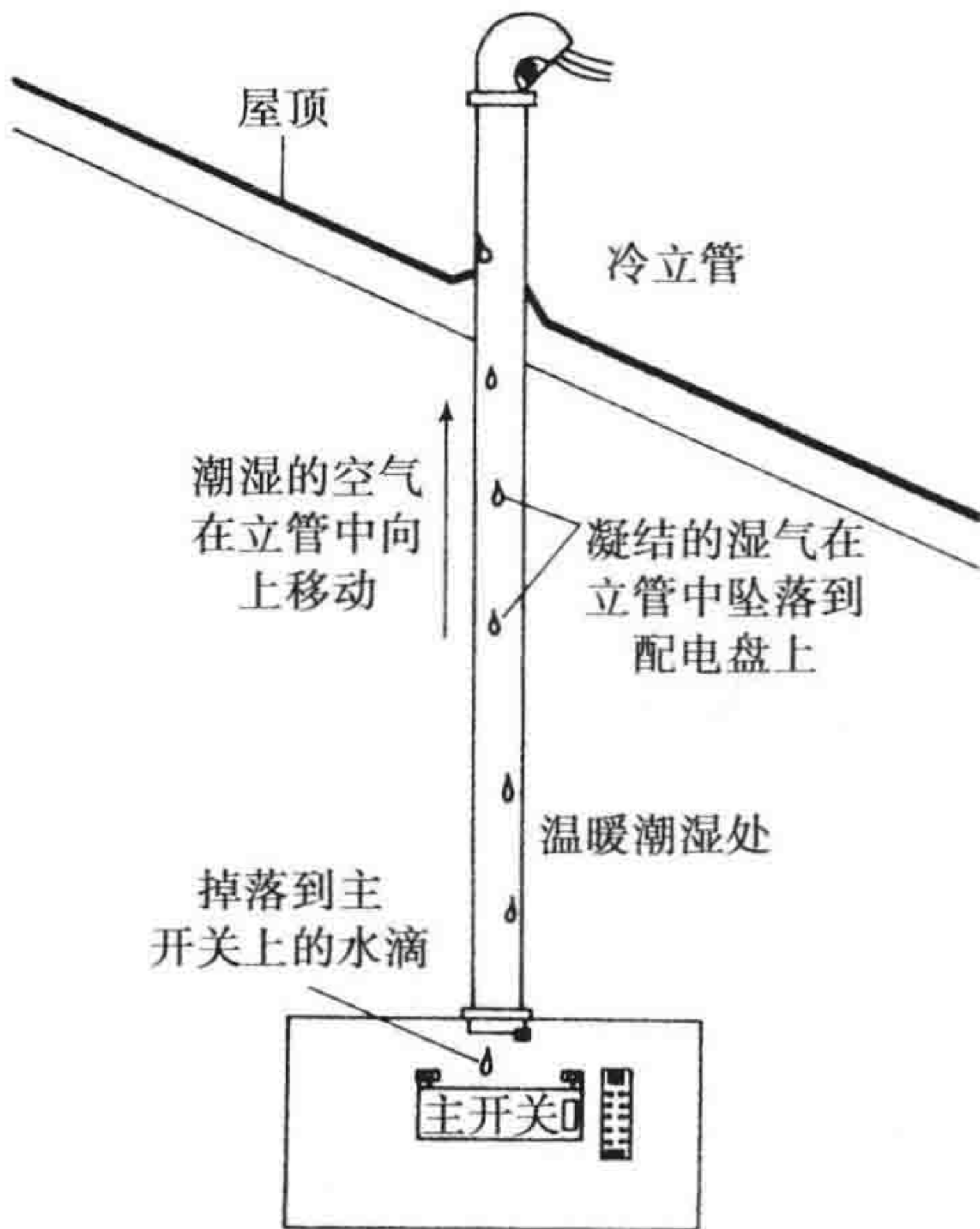


图 23-1 配电盘区域的湿气可能引发故障

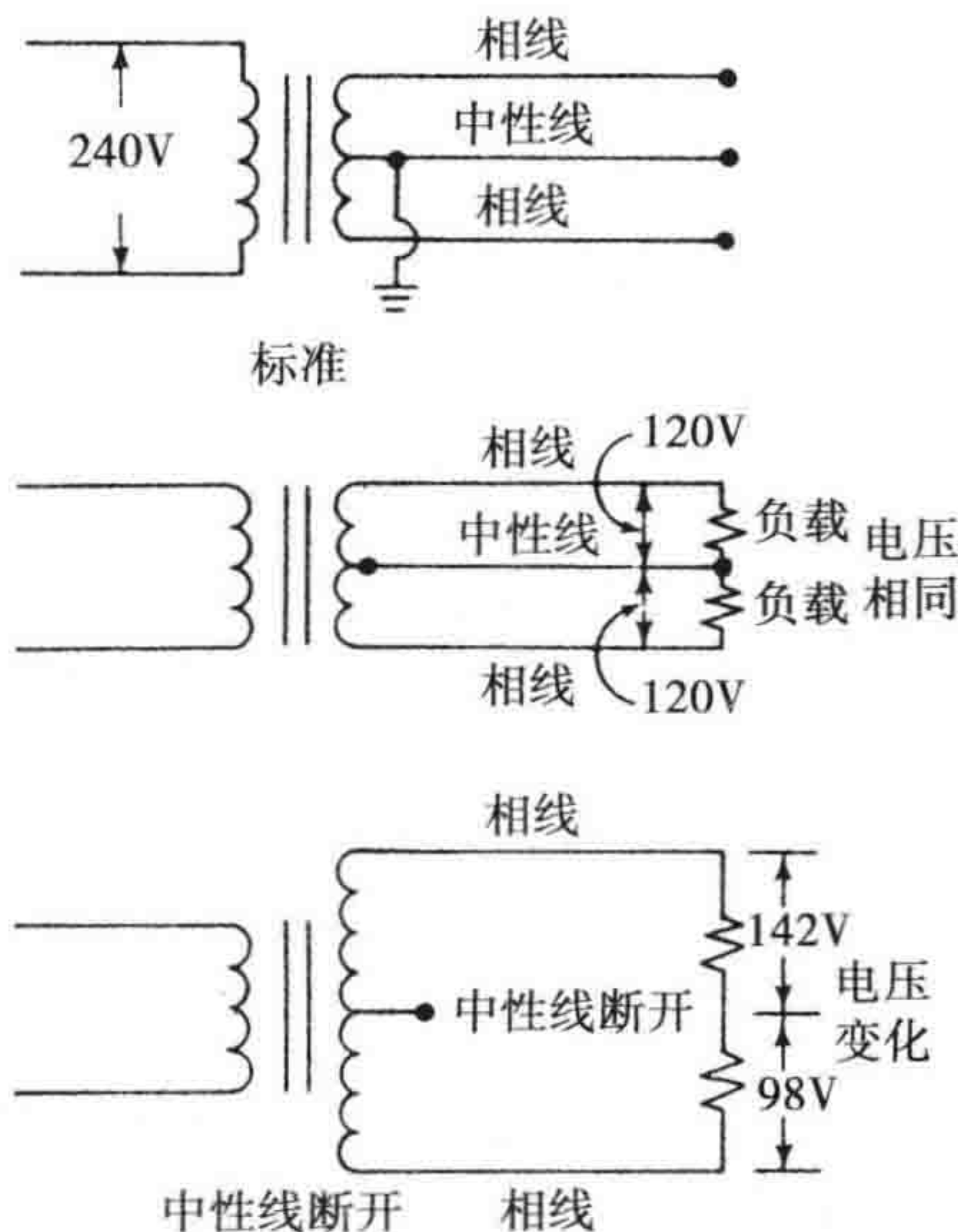


图 23-2 接地阻断

出现这种情况的标志之一就是：建筑中的一些灯会很亮而其他灯会很暗。在允许继续运行前，断开主开关，找到断路阻断点或被腐蚀的接地点。若发生了中性线断开的情况，触摸导体将十分危险。人体或动物（畜牧场中）会接通电路，从而发生致命的电击。

23.3.2 避免意外电击

接地故障断路器（Ground-Fault Circuit Interrupter, GFCI）是一种可防止意外电击的装置。然而，GFCI 保护不能够代替好的接地工程，良好的接地系统是非常重要的。图 23-3 所示为可用于多种场合的装置。该装置通过检查接地系统来防止电击，它可在家庭、工厂和商业场所安装。无论是在居民住宅还是工作地点，电工技师都会遇到这个装置。

图 23-4a 所示的装置可检测极性与接地，使用插电检测器也可检测到其他 5 种错误的接线方式。图 23-4b 表示使用同一个检测器检测某工具的接地电路。这个检测很重要，因为手钻有一个金属手柄。

图 23-4c 中的仪表是接地回路检测器，可检测通电电路中接地回路的阻抗，也可用于检测工具、管道系统与其他设备的接地情况。图 23-4d 中的仪表用于检测 500V 和 1000V 断电路与电气设备间的直流绝缘电阻，也可检测低阻抗电路的连续性。

图 23-4e 所示的接地故障电路断路器主要用于保证工具在工作时不会成为故障原因，不会引发严重的人身伤害。该检测工具可以确保电流泄漏低于危险值。请记住，接地故障电路断路器可能会由于几滴水或几粒尘土而跳闸。避免这个问题的方法之一就是在延长线路上使用防水的插头与插座。



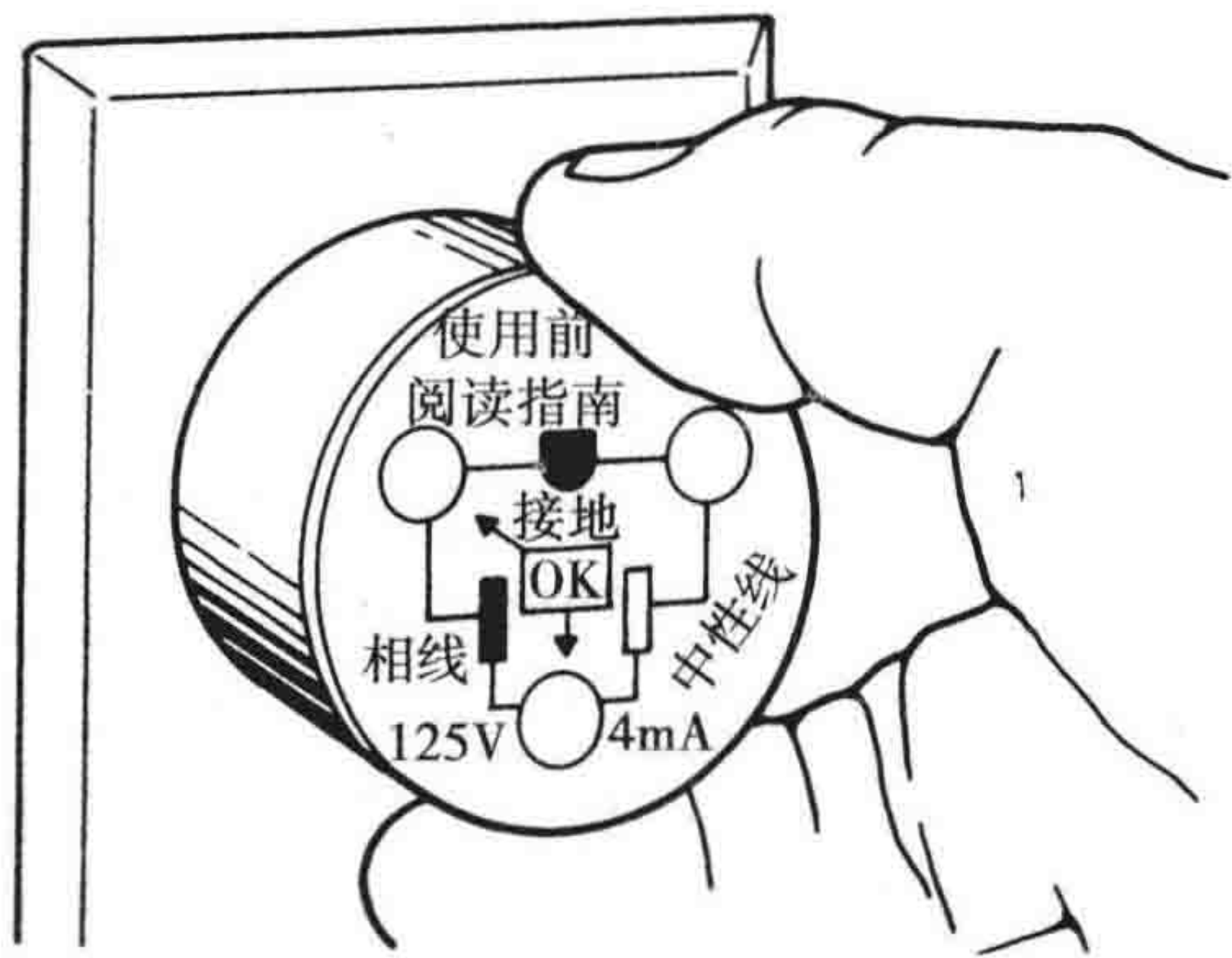


图 23-3 接地监控器

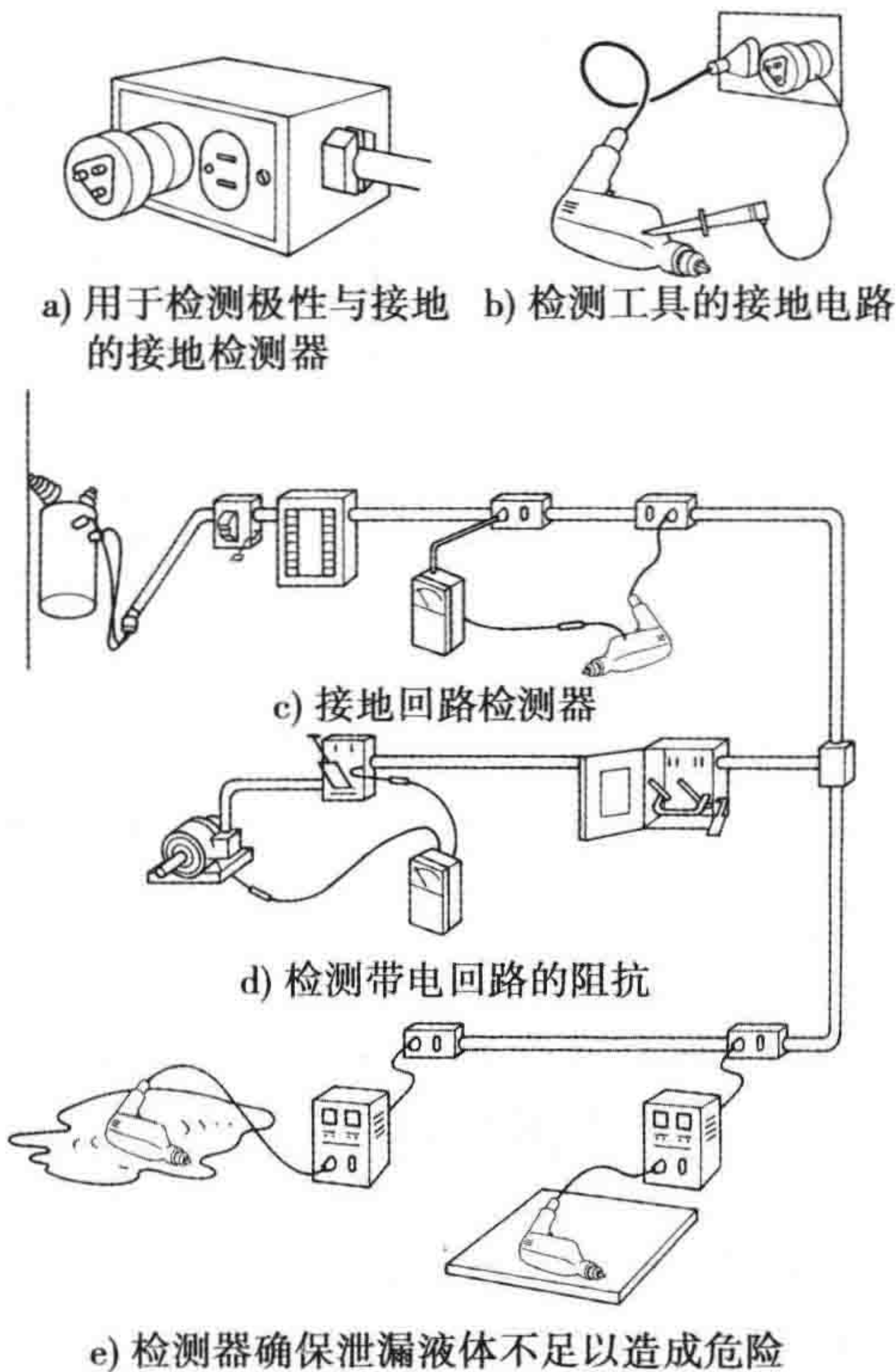


图 23-4 各种接地检测设备

23.3.3 接地故障插座

连接接地故障插座（GFR）的方法有两种（见图 23-5 与图 23-6）。图中所示的装置既有接地故障断路器，也有接地故障插座。图 23-6 所示的接线方式可用于保护其他分支插座。由于使用保护插座的人不一定了解它们，所以就会在某些地方带来问题，当接地故障插座跳闸时，保护插座也会与电路断开。

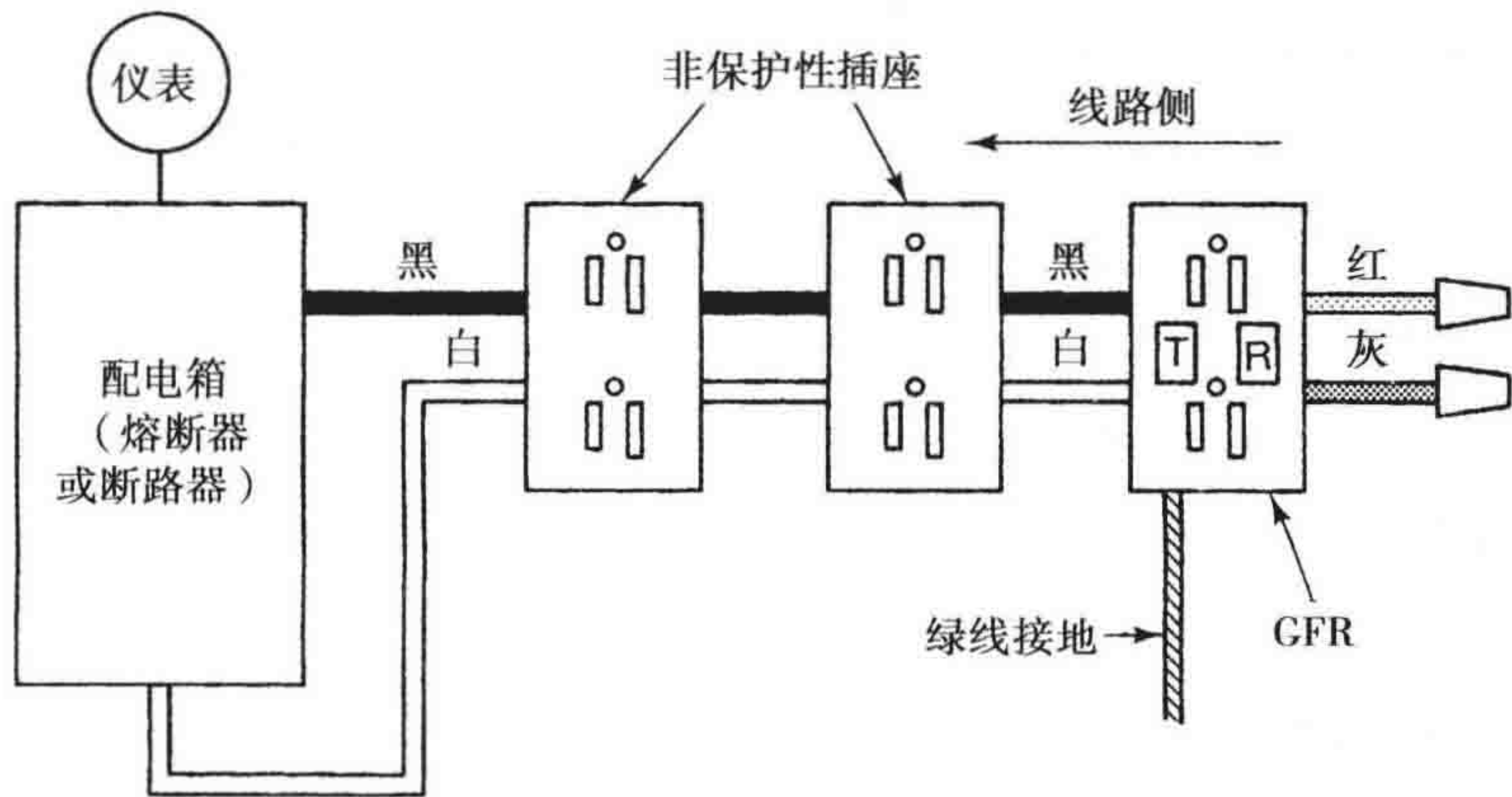


图 23-5 安装在箱中的接地故障插座

检测终端安装的一个方法就是检测红线和灰线，若它们用一个接线螺帽包起来，则接地故障插座不能连接到其他电源插座上。



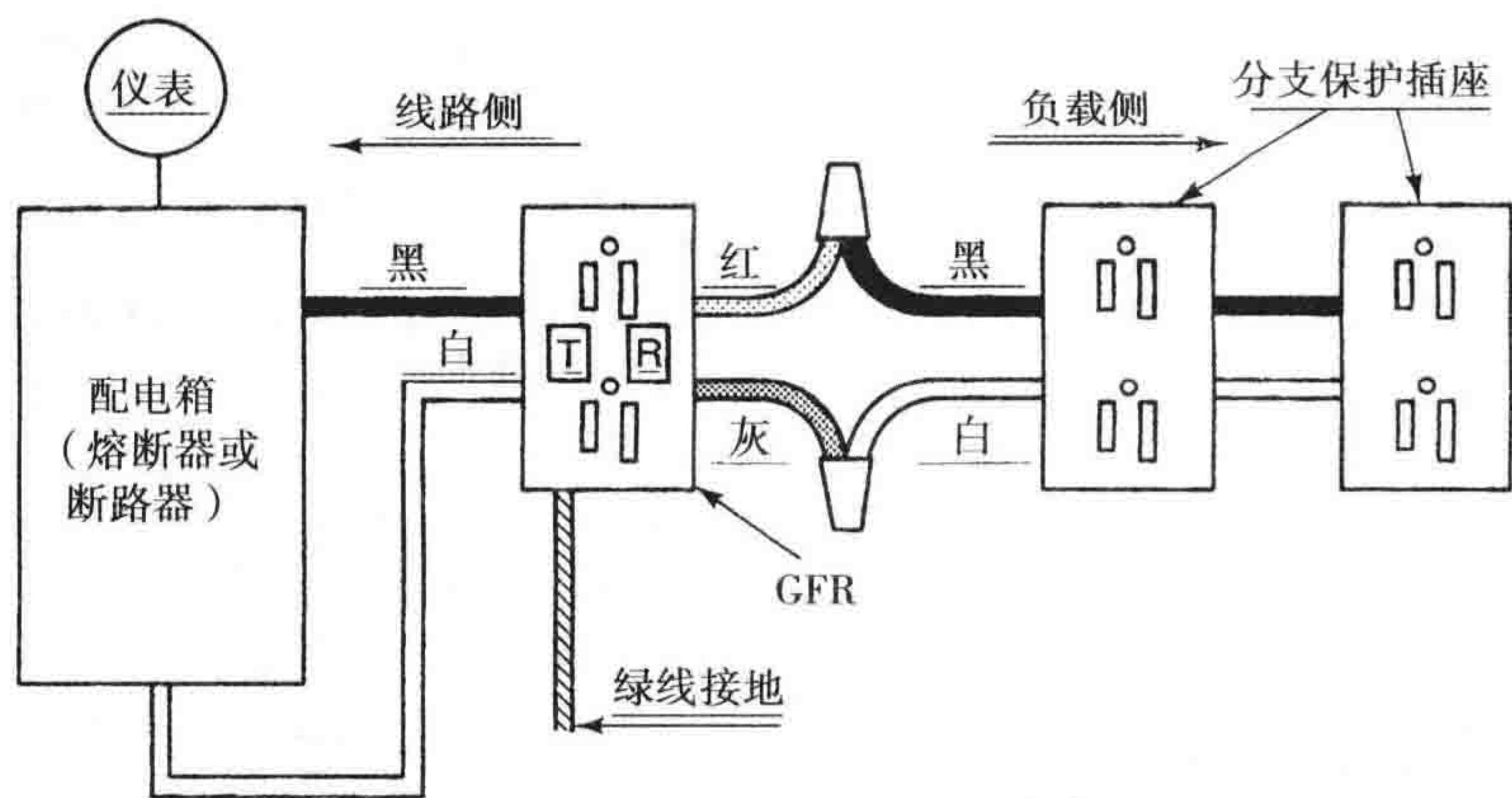


图 23-6 保护分支设备的接地故障插座

23.3.4 布线装置

使用正确的布线装置也是一种预防性维修形式，这样可以避免后续问题的出现。使用绝缘强度较高的材料制作的模压成型内壁以及独立导线槽，可将电击危险降到最小。尼龙用在这里似乎最为合适，尼龙设备在高负载的工业商业应用中可承受较高的冲击。每个模压分段都要对相邻的分段起支撑作用，这样才会既有弹性又有刚性。由乙烯树脂、氯丁橡胶、尿素塑料或酚醛树脂等材料制作的设备，在承受压力时可能会爆裂或损坏，这种损坏可能并不可见，但却可导致短路或其他危害，而尼龙则不然，它既耐高压也不会损坏。

23.4 小型电动机的维修

小型电动机在运行时通常很少出现问题，其维修常被忽略。小型电动机每年应进行两次全面检查，检测其磨损状况，消除可能引起更严重磨损的隐患。电动机轴承、保险装置以及其他易损件都需要特殊的检查维护。务必保证尘土不会影响通风系统或堵塞活动部件。

23.4.1 恰当的导线规格

安装新电动机或将电动机移动到其他地方时，最好检查一下接线，确保使用合适的导线向电动机供电。很多时候，更换导线可避免以后的故障。使用恰当规格的导线有助于防止电动机过热与减小供电成本。

23.4.2 检查内部开关

起动绕组开关通常很少出现问题，然而，定期检查会让它们的使用寿命更长。注意清洁触点时要使用细砂纸，并且要确保其轴上操作起动绕组开关的滑动构件可自由移动，同时还要检查螺钉是否有松动。

23.4.3 检查负载情况

要定期检查负载情况。有时，设备内部的附加摩擦力会逐渐增大，可能会造成电动机过载，所以需要注意观察电动机的温度，通过使用合适的熔断器或过载保护开关来保护电动机。

23.4.4 特别关注润滑油

若电动机的运行时间达到了平时的 3 倍，那么电动机润滑油的检查次数就需要是平时的 3



倍。需要根据生产商的建议向电动机内加润滑油。要给电动机加足够的润滑油，但是不要过量。

#### 23.4.5 保持换向器清洁

直流电动机上的换向器不可覆盖尘土或油污，应当使用一块清洁、干燥的布或沾有不会留下溶剂印记的布不定期地擦拭。若需要使用砂纸擦光，可使用 0000 号或更细的砂纸。目前有等级达到 1500 粒度或更细的砂纸。

#### 23.4.6 电动机运行额定值

有时需要将电动机从一项任务中换到另外一项上，或者电动机以前的工作状态是短时间运行，现在需要连续运行。当电动机在不同条件下运行或用在新的地方时，必须确保它的运行值是合适的。如果一台电动机的额定值是间歇运行值，则电动机在短时间内运行时其内部的温度不会过度升高，但此电动机持续运行时将会导致温升过高，绝缘失效，甚至引起火灾。

#### 23.4.7 更换磨损电刷

电刷每隔一定时间就要检查一次，必要时可以更换。当拆除电刷检查时，确保替换的电刷在同一轴向位置。也就是说，将其放回电动机时，不可放在电刷支架上。因为接触面已经与换向器磨合过，若接触面没有放置在同一位置，就会产生过多的电火花，增加功率损失。电刷一定会磨损，在长度小于 0.25in (1in=0.025 4m) 之前应当将其更换。当电刷拆除后，也应该检查一下换向器。参见本章后面 23.18 节。

### 23.5 电动机故障

电动机过热或烧坏之前，会出现某些危险信号。

#### 23.5.1 滚珠轴承电动机

危险信号：

- 电动机与轴承间的温差突然增加，表示轴承的润滑出现问题。
- 润滑油的温度若比建议的温度高，这是警告我们轴承的寿命正在减少。按经验来说，机器运行时温度每升高 25 °F ( -4 °C )，润滑油的寿命就会减少一半。
- 轴承噪声增加，同时伴随着温度升高，表示轴承发生了严重的故障。

滚珠轴承润滑剂的主要作用：

- 散热。承载部件带载时会发生摩擦，产生热量。
- 保护承载部件不生锈、不腐蚀。
- 提供最高保护，以免外部杂质进入轴承中。

轴承故障的原因：

- 不干净的润滑油或失效的密封圈给轴承带来了杂质。
- 由于温度过高或被污染，造成润滑油变质。
- 润滑油过多，导致轴承过热。

#### 23.5.2 套筒轴承电动机

套筒轴承电动机使用的润滑油会产生一层油膜，将轴承表面与转轴部件完全分开，理想情况下会消除金属与金属的接触。



**润滑油** 由于润滑油具有黏接性与黏度或者对流动的阻力，因此润滑油会被旋转机轴带动，并在机轴与轴承之间形成一层楔形薄膜。机轴开始转动时，油膜就自动形成了，而且随着机轴转动持续存在。正向转动会在油膜上施加压力，进而支撑负载。楔形油膜为套筒轴承提供了有效的润滑，体现了流体力学的基本特征。如果没有油膜，就无法带重载，同时会有很高的摩擦损失，轴承将会损坏。润滑油起作用并有一层油膜时，套筒轴承的主要作用是确保校准。当油膜失效时，轴承的功能是保护电动机轴，使其免受损害。

**润滑油的选择** 好的润滑油会为轴承提供最有效的润滑，无须频繁更换，因此润滑油的选择需要认真考虑。想要降低维护成本，有必要使用高质量的润滑油。推荐使用最高等级的润滑油，它们由纯石油精炼而成，对要润滑的金属表面没有腐蚀性，不受沉淀物、灰尘或其他杂质的影响，处在电动机内部高温潮湿环境中也很稳定。从性能方面考虑，使用价位高的润滑油，会使电动机长久运行，所以更经济。

随着电动机轴的旋转，一层叠着一层地形成油膜。由于多层油膜的滑动，油膜之间的内部摩擦可通过黏度来测量。特殊应用中使用的润滑油的黏度应确保在油膜形成且达到运行温度之前，就能提供足够的润滑性，以避免在低环境温度、低速、重载时的磨损与咬死。低黏度的润滑油建议在小功率电动机中使用，这是因为小功率电动机的内摩擦较小，可实现电动机效率最大化，同时使轴承的运行温度最低。

**标准油品** 对于使用标准温度润滑油的套筒轴承，较高的环境温度与较高的电动机运行温度都会增加轴承的运行温度，使润滑油的温度超出范围，进而产生破坏性的影响。破坏性的影响包括：润滑油黏度降低、润滑油中腐蚀性氧化物增加，润滑质量通常也会下降。所以，高温下运行电动机与低温下运行电动机所用的润滑油都是特制的。针对轴承运行可能出现的极端温度，需要选择合适的润滑油，这将对电动机性能与轴承寿命有着决定性的影响。

**磨损** 相对于滚珠轴承，套筒轴承对有限数量的摩擦物或杂质敏感度更低一些，这是由于套筒轴承相对滚珠轴承而言，其柔软的表面能够承受硬杂质粒子，但是，维持润滑油与轴承清洁依然是良好的保养习惯。更换润滑油的频率取决于实际情况，如使用温度与运行温度的差值、连续运行程度。严谨的润滑油维护程序需要定期检查油位，每六个月清洁一次并添加新润滑油。

**警告：**杜绝过量使用润滑油，过量使用将导致电动机绝缘损坏，这是套筒轴承与滚珠轴承电动机绕组绝缘失效最常见的原因之一。

### 23.6 常见电动机故障及起因

很多情况下，易于检测的特征恰好反映了小功率电动机的故障所在。然而，一般类型的故障都有类似的表现，分别检测原因是很有必要的。表 23-1 列举了小型电动机的常见故障，并对可能的原因给予了建议。大多数常见的电动机故障可以通过某种测试或检查检测出来。测试的顺序取决于检修人员，但是一般会先进行最简单的测试。例如，若一台电动机无法启动，则首先要检查电动机的接线，因为做这事很容易也很简单。

表 23-1 笼型电动机的故障

表现与可能的原因	可能的解决方法
电动机无法起动	
(a) 过载控制器跳闸	(a) 等待电动机冷却。尝试重新启动。若电动机仍无法起动，则检查下面列举的所有原因



(续)

表现与可能的原因	可能的解决方法
(b) 电源无法接通	(b) 为控制器接通电源，将控制器与电动机相连。检查连接处触点
(c) 熔断器故障（断开）	(c) 检查熔断器
(d) 低电压	(d) 检查电动机电源的铭牌值。同时检测带载电动机的端子电压，确保导线规格正确
(e) 控制连接错误	(e) 利用控制器线路图检测连接
(f) 端子接线松动	(f) 紧固连接
(g) 驱动设备被锁定	(g) 将电动机与负载断开，如果电动机的起动符合要求，则检查驱动设备
(h) 定子绕组或转子绕组开路	(h) 检查断开的电路
(i) 定子绕组短路	(i) 检查短路的线圈
(j) 绕组接地	(j) 检查接地的绕组
(k) 轴承不灵活	(k) 活动轴承或重新安装
(l) 润滑油太稠密	(l) 特定情况使用特殊的润滑油
(m) 控制故障	(m) 检查控制线圈
(n) 过载	(n) 减少负载
电动机噪声	
电动机单相运行	停止电动机，然后试着起动（电动机单相时不会起动），在其中一条线路或电路中检测是否“断开”

23.6.1 故障诊断

诊断故障时，综合几种现象就可以确定故障的原因了，从而排除其他可能性。例如，有的情况只提及了电动机无法起动，若出现了过热现象，可能是某个绕组短路或者接地了，从而排除了有断路、线路连接问题或者起动开关等问题的可能性。

23.6.2 离心开关

离心开关在许多单相小功率电动机中都有应用，偶尔会成为故障源。若在运行时开关卡在某个位置，那么电动机就无法起动。另一方面，若开关在电动机停转位置卡住了，则电动机就会堵转，起动绕组会迅速发热。若开关触点失调或覆盖有氧化层，那么电动机也可能无法起动。然而，任何对开关或触点进行的调整，都应该在工厂或经授权的服务站内操作，记住这点很重要。

23.6.3 换向器型电动机

带有换向器的电动机更加需要维护。高速串励电动机不可应用在长期连续工作的地方，因为换向器与电刷可能会发生故障。变形的换向器与油浸的电刷可能引发运转缓慢与严重的电火花。换向器可以用细砂纸清洁。然而，若换向器上依然出现凹痕，就需要重新打磨了。

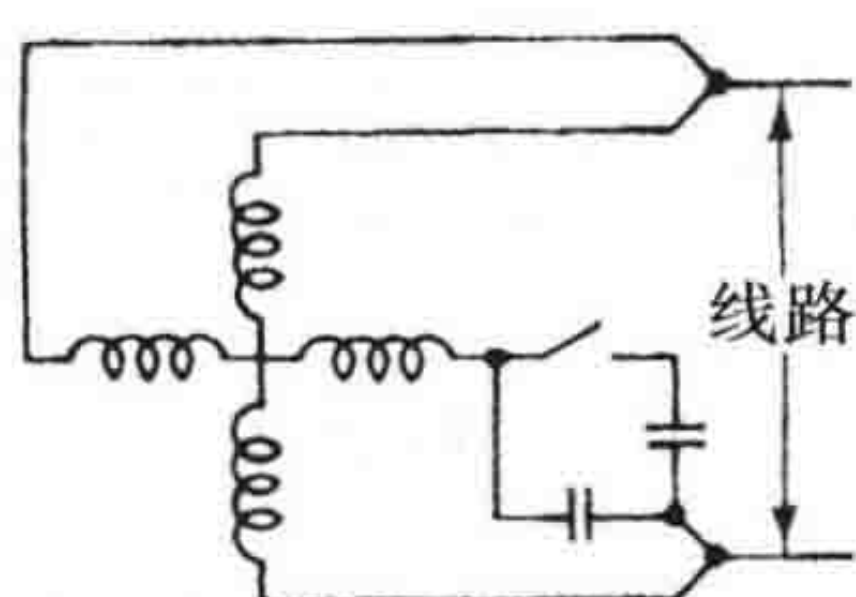
23.7 故障排除手段

23.7.1 接线图

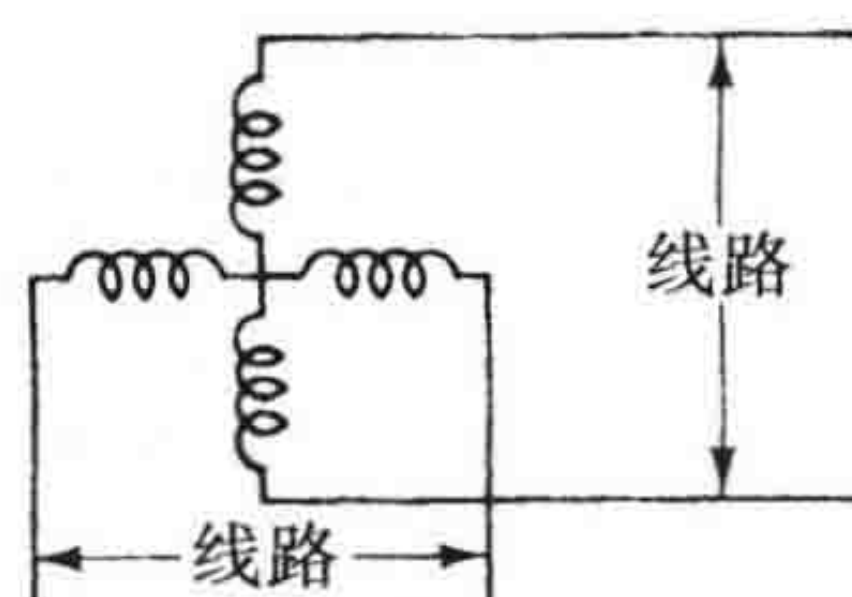
图 23-7 所示为有助于排除故障的电动机接线图。了解绕组的布置对于检查短路、接地



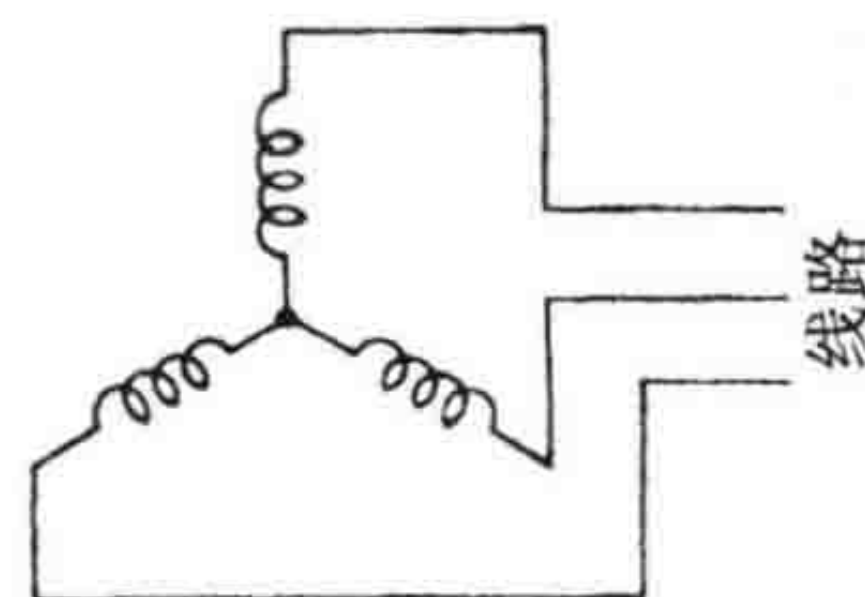
与开路很有帮助。



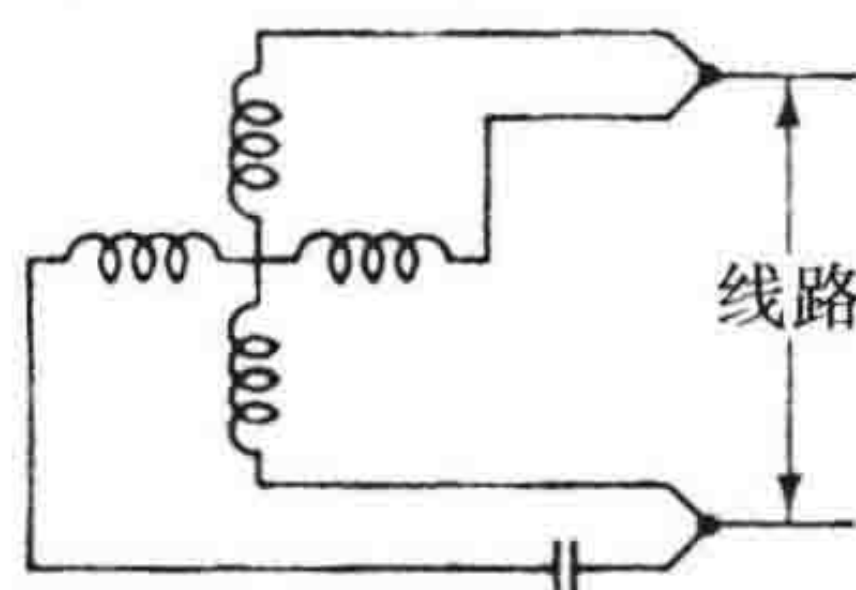
磁阻同步二值电容——只能从静止状态反转（通过调换引线）



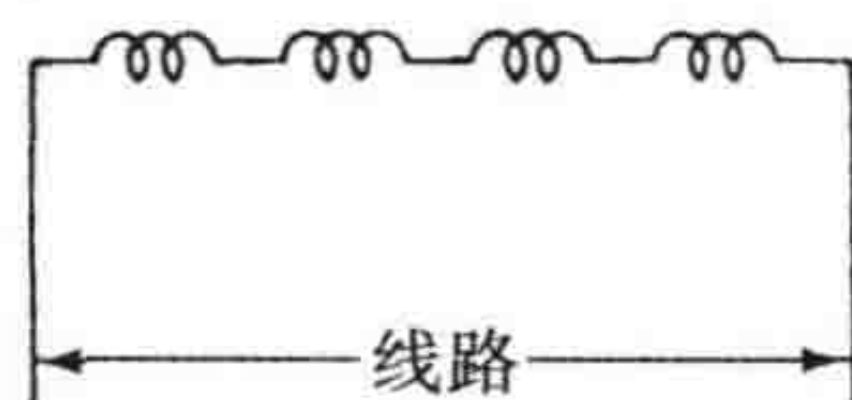
磁阻同步两相四接头——通过  
调换与线路连接的任一相引线  
实现反转



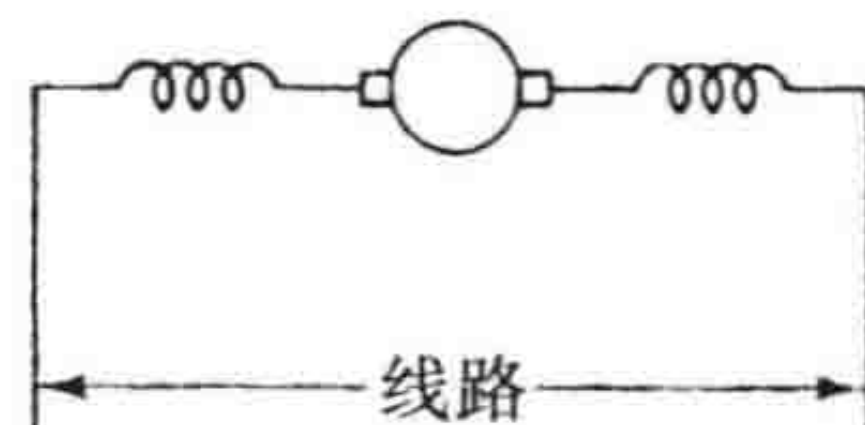
### 磁阻同步三相——通过调换任意两个引线实现反转



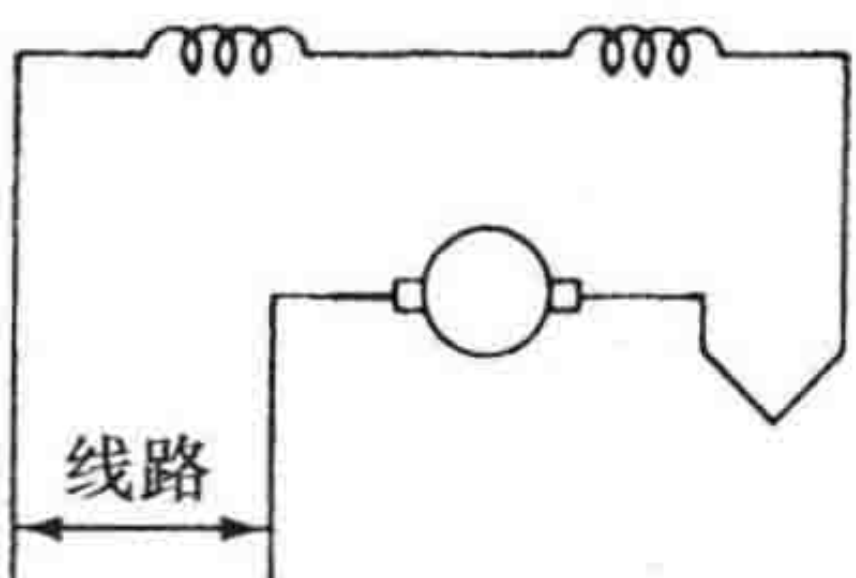
### 磁滞同步固定分相式 电容——通过调换引线 实现反转



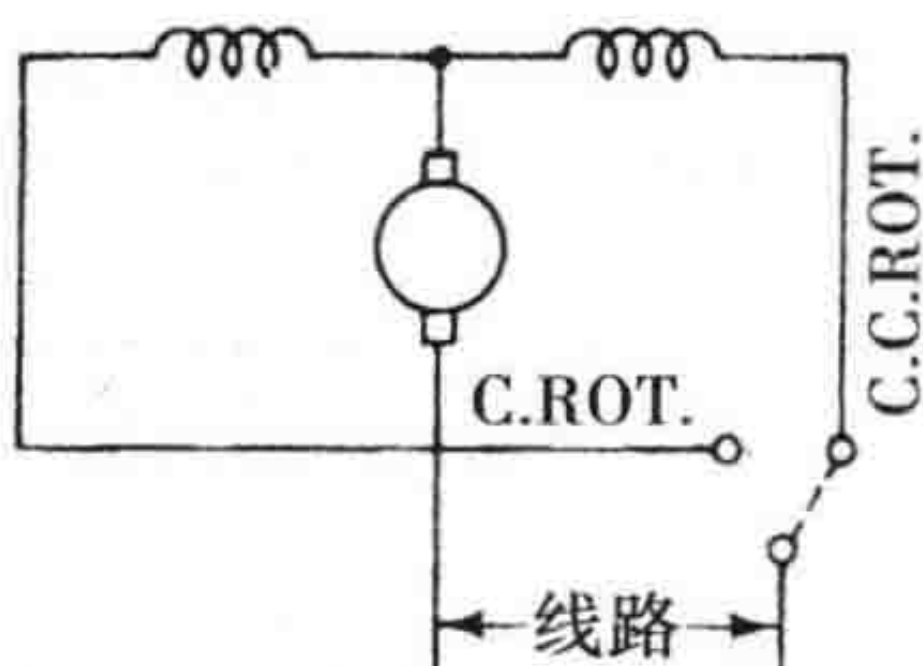
單极——不可反转



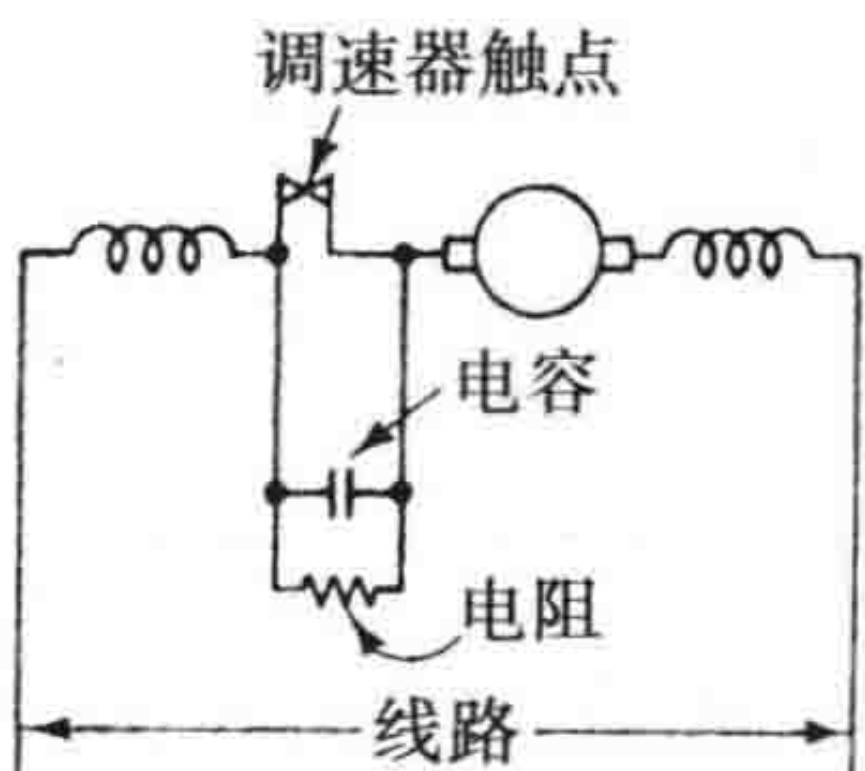
串励，双引线——  
不可反转



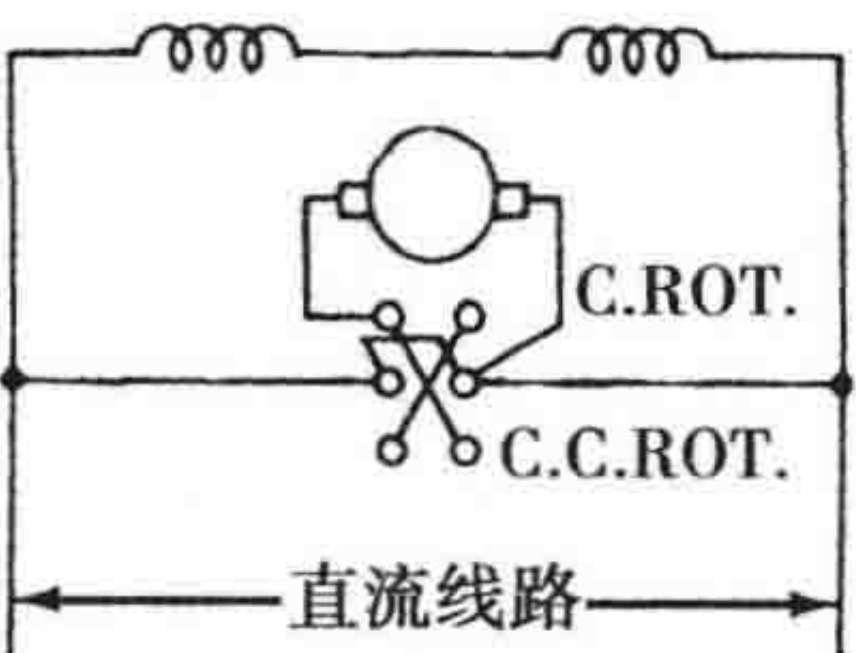
### 串励，四引线——通过 调换电枢引线实现反转



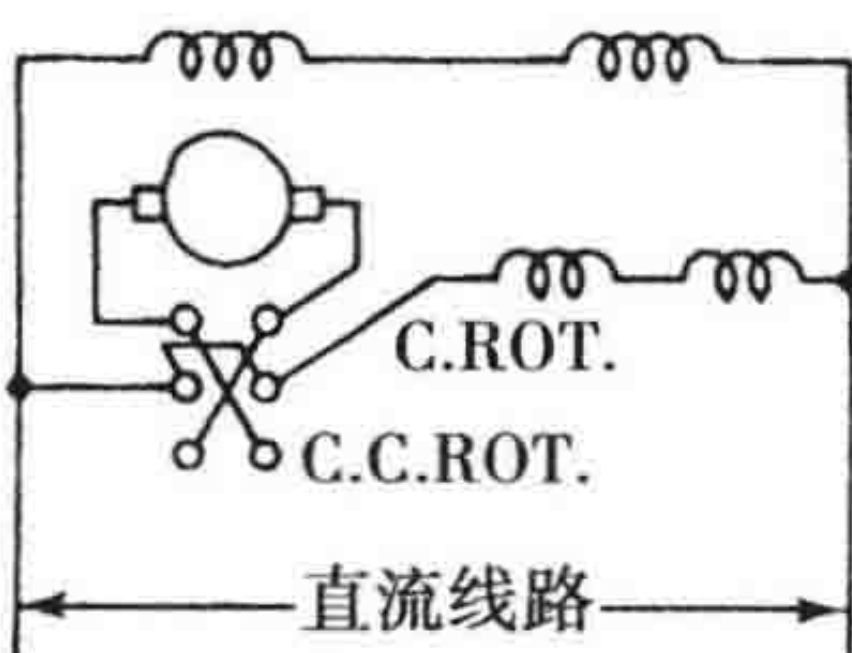
串励分段式——通过将任一磁极的引线与线路相连，实现反转



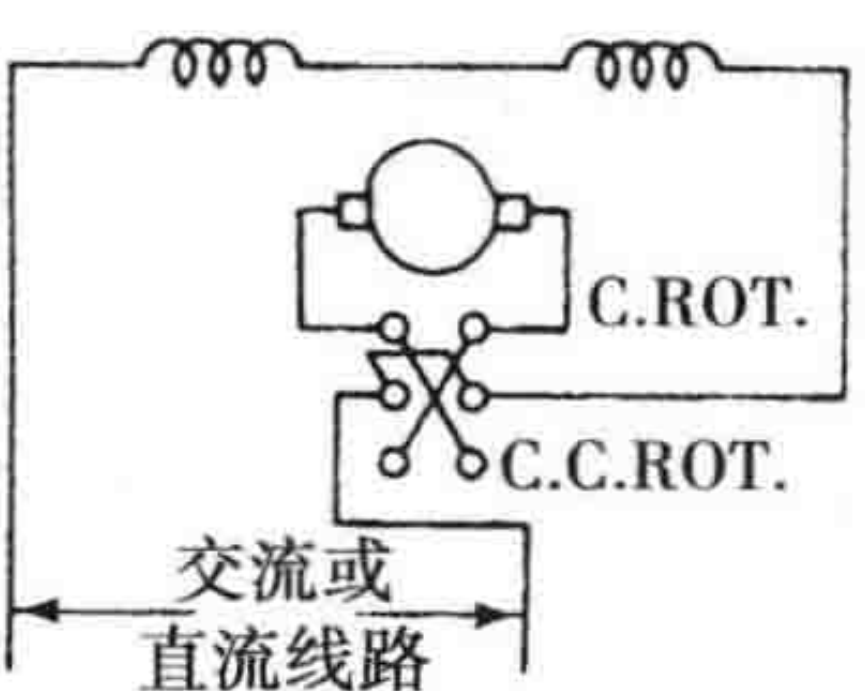
电子调速器控制，  
串励——不可反转



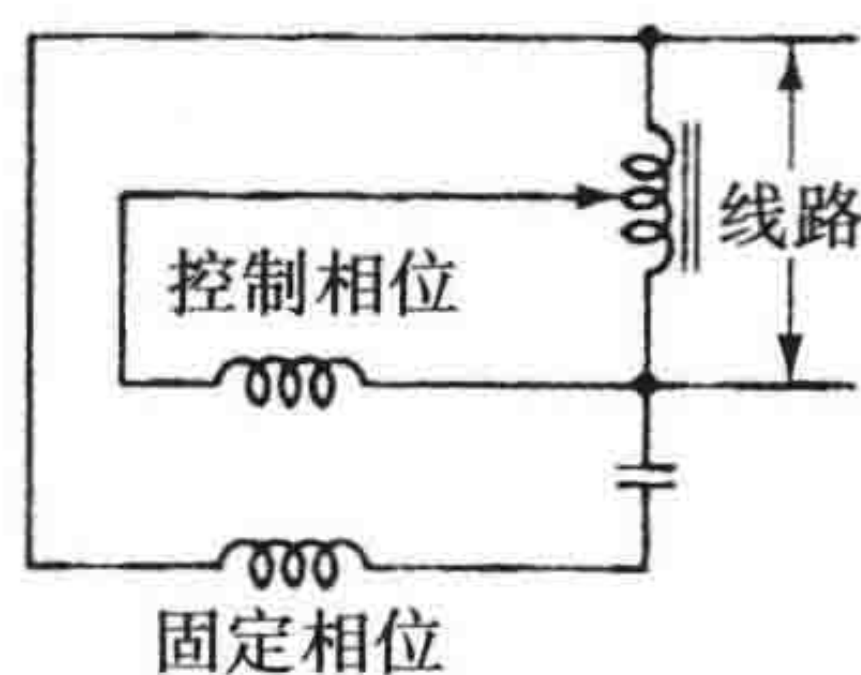
并励电动机，四线——可反转



复励电动机——五线，可反转



串励电动机，四线——可反转



### 两相伺服式控制——可反转

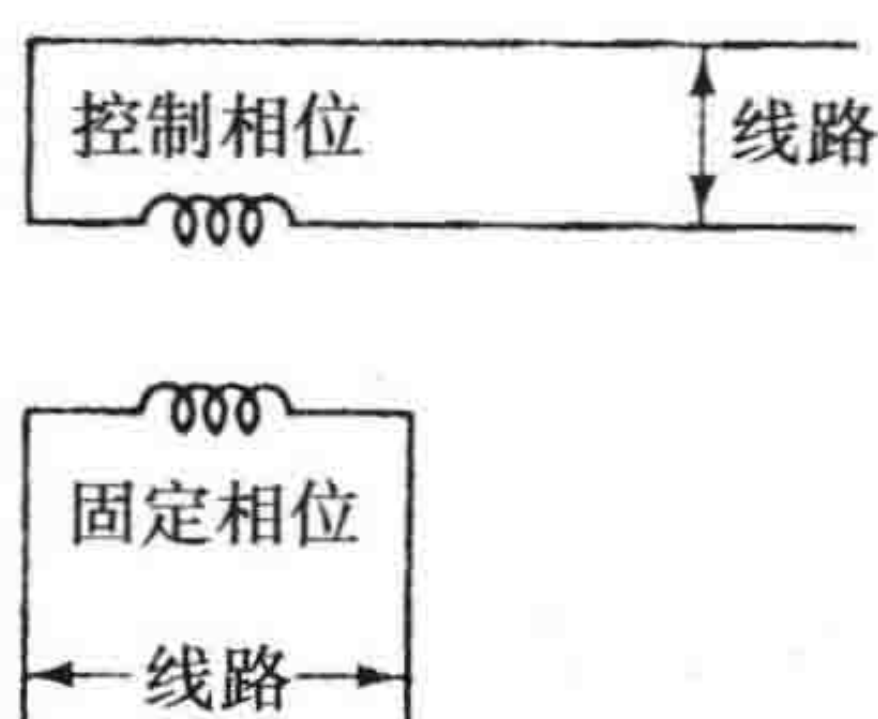


图 23-7 电动机接线图



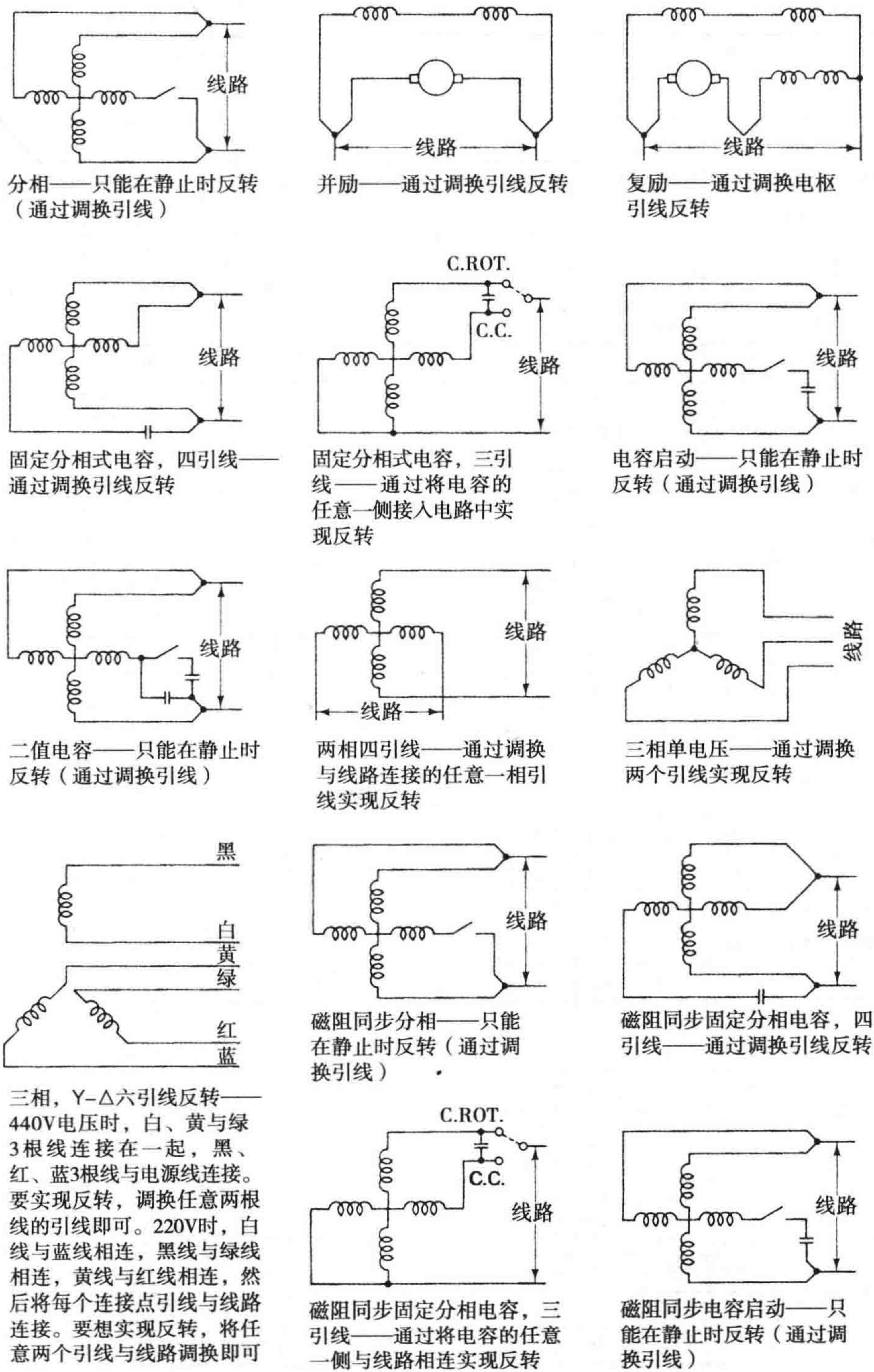


图 23-7 (续)

23.7.2 小型三相电动机额定数据

知道正常运行时的预期电流值，对于排除故障很有用处。可以使用钳式电流表测量电动机的电流，判断电流是否过高或不正确。表 23-2 为三相交流感应电动机的额定电流。



表 23-2 60Hz 三相交流感应电动机的额定电流

电 流 (A)								电 流 (A)							
功率 <sup>①</sup> (hp)	同步 转速 (r/min)	115V	230V	380V	460V	575V	2200V	功率 <sup>①</sup> (hp)	同步 转速 (r/min)	115V	230V	380V	460V	575V	2200V
$\frac{1}{4}$	1800	1.90	0.95	0.55	0.48	0.38		15	900	61.0	30.5	18.5	15.2	12.2	
	1200	2.80	1.40	0.81	0.70	0.56			3600	72.7	36.4	22.0	18.2	14.5	
	900	3.20	1.60	0.93	0.80	0.64			1800	78.4	39.2	23.7	19.6	15.7	
$\frac{1}{3}$	1800	2.38	1.19	0.69	0.60	0.48			1200	82.7	41.4	25.0	20.7	16.5	
	1200	3.60	1.80	1.04	0.90	0.72			900	89.0	44.5	26.9	22.2	17.8	
	900	3.60	1.80	1.04	0.90	0.72		20	3600	101.1	50.4	30.5	25.2	20.1	
$\frac{1}{2}$	1800	3.44	1.72	0.99	0.86	0.69			1800	102.2	51.2	31.0	25.6	20.5	
	1200	4.30	2.15	1.24	1.08	0.86			1200	105.7	52.8	31.9	26.4	21.1	
	900	4.76	2.38	1.38	1.19	0.95			900	109.5	54.9	33.2	27.4	21.9	
$\frac{3}{4}$	1800	4.92	2.46	1.42	1.23	0.98		25	3600	121.5	60.8	36.8	30.4	24.3	
	1200	5.84	2.92	1.69	1.46	1.17			1800	129.8	64.8	39.2	32.4	25.9	
	900	6.52	3.26	1.88	1.63	1.30			1200	131.2	65.6	39.6	32.8	26.2	
1	3600	5.60	2.80	1.70	1.40	1.12			900	134.5	67.3	40.7	33.7	27.0	
	1800	7.12	3.56	2.06	1.78	1.42		30	3600	147	73.7	44.4	36.8	29.4	
	1200	7.52	3.76	2.28	1.88	1.50			1800	151	75.6	45.7	37.8	30.2	
	900	8.60	4.30	2.60	2.15	1.72			1200	158	78.8	47.6	39.4	31.5	
$1\frac{1}{2}$	3600	8.72	4.36	2.64	2.18	1.74			900	164	81.8	49.5	40.9	32.7	
	1800	9.71	4.86	2.94	2.43	1.94		40	3600	193	96.4	58.2	48.2	38.5	
	1200	10.5	5.28	3.20	2.64	2.11			1800	202	101	61.0	50.4	40.3	
	900	11.2	5.60	3.39	2.80	2.24			1200	203	102	61.2	50.6	40.4	
2	3600	11.2	5.60	3.39	2.80	2.24			900	209	105	63.2	52.2	41.7	
	1800	12.8	6.40	3.87	3.20	2.56		50	3600	241	120	72.9	60.1	48.2	
	1200	13.7	6.84	4.14	3.42	2.74			1800	249	124	75.2	62.2	49.7	
	900	15.8	7.90	4.77	3.95	3.16			1200	252	126	76.2	63.0	50.4	
3	3600	16.7	8.34	5.02	4.17	3.34			900	260	130	78.5	65.0	52.0	
	1800	18.8	9.40	5.70	4.70	3.76		60	3600	287	143	86.8	71.7	57.3	
	1200	20.5	10.2	6.20	5.12	4.10			1800	298	149	90.0	74.5	59.4	
	900	22.8	11.4	6.90	5.70	4.55			1200	300	150	91.0	75.0	60.0	
5	3600	27.1	13.5	8.20	6.76	5.41			900	308	154	93.1	77.0	61.5	
	1800	28.9	14.4	8.74	7.21	5.78		75	3600	359	179	108	89.6	71.7	
	1200	31.7	15.8	9.59	7.91	6.32			1800	365	183	111	91.6	73.2	
	900	31.0	15.5	9.38	7.75	6.20			1200	368	184	112	92.0	73.5	
$7\frac{1}{2}$	3600	39.1	19.5	11.8	9.79	7.81			900	386	193	117	96.5	77.5	
	1800	43.0	21.5	13.0	10.7	8.55		100	3600	461	231	140	115	92.2	
	1200	43.7	21.8	13.2	10.9	8.70			1800	474	236	144	118	94.8	23.6
	900	46.0	23.0	13.9	11.5	9.19			1200	478	239	145	120	95.6	24.2
10	3600	50.8	25.4	15.4	12.7	10.1			900	504	252	153	126	101	24.8
	1800	53.8	26.8	16.3	13.4	10.7		125	3600	583	292	176	146	116	
	1200	56.0	28.0	16.9	14.0	11.2			1800	584	293	177	147	117	29.2



(续)

电 流 (A)								电 流 (A)							
功率 <sup>①</sup> (hp)	同步 转速 (r/min)	115V	230V	380V	460V	575V	2200V	功率 <sup>①</sup> (hp)	同步 转速 (r/min)	115V	230V	380V	460V	575V	2200V
125	1200	596	298	180	149	119	29.9	200	900	964	482	279	241	193	49.4
	900	610	305	186	153	122	30.9	250	3600	1118	559	338	279	223	
150	3600	687	343	208	171	137			1800	1136	568	343	284	227	57.5
	1800	693	348	210	174	139	34.8		1200	1146	573	345	287	229	58.5
	1200	700	350	210	174	139	35.8		900	1200	600	347	300	240	60.5
	900	730	365	211	183	146	37.0	300	1800	1356	678	392	339	274	69.0
200	3600	904	452	274	226	181			1200	1368	684	395	342	274	70.0
	1800	915	458	277	229	184	46.7	400	1800	1792	896	518	448	358	91.8
	1200	920	460	266	230	184	47.0	500	1800	2220	1110	642	555	444	116

① 1 hp=746W。  
来源：芝加哥宝鼎电气公司。

电动机的额定电流取决于电动机的类型，不同的电动机会有所不同。表 23-2 所给出的数值适用于防滴漏 B 等级绝缘（T 形机架），1.15 保险系数，美国电气制造商协会设计的 B 型电动机。这些数值来自于几大电动机生产商公布的电动机运行数据，代表了满载下电动机运行的平均电流。对于高转矩笼型电动机，额定电流要比表中数值高至少 10%。

23.8 电源扰动

装置的维护受其供电电源质量的影响。一些故障与多种线路扰动有关。影响供电质量的三种不规律情况是电压波动、电压瞬变以及电力中断。

23.8.1 电压波动

在美国，许多州的公共服务委员会都为公用电力设定允许的电压偏差，这些电压偏差通常被连续监测，在大多数情况下，为了使电压保持在允许值范围内，需要采取各种预防措施。然而，一些设备非常敏感，在电压偏差范围内的电压波动也会引起故障（见图 23-8）。

电压波动通常可以通过灯的闪烁发现，电压过高或过低都会导致设备损坏、数据丢失以及监控系统的错误读取（见图 23-9）。

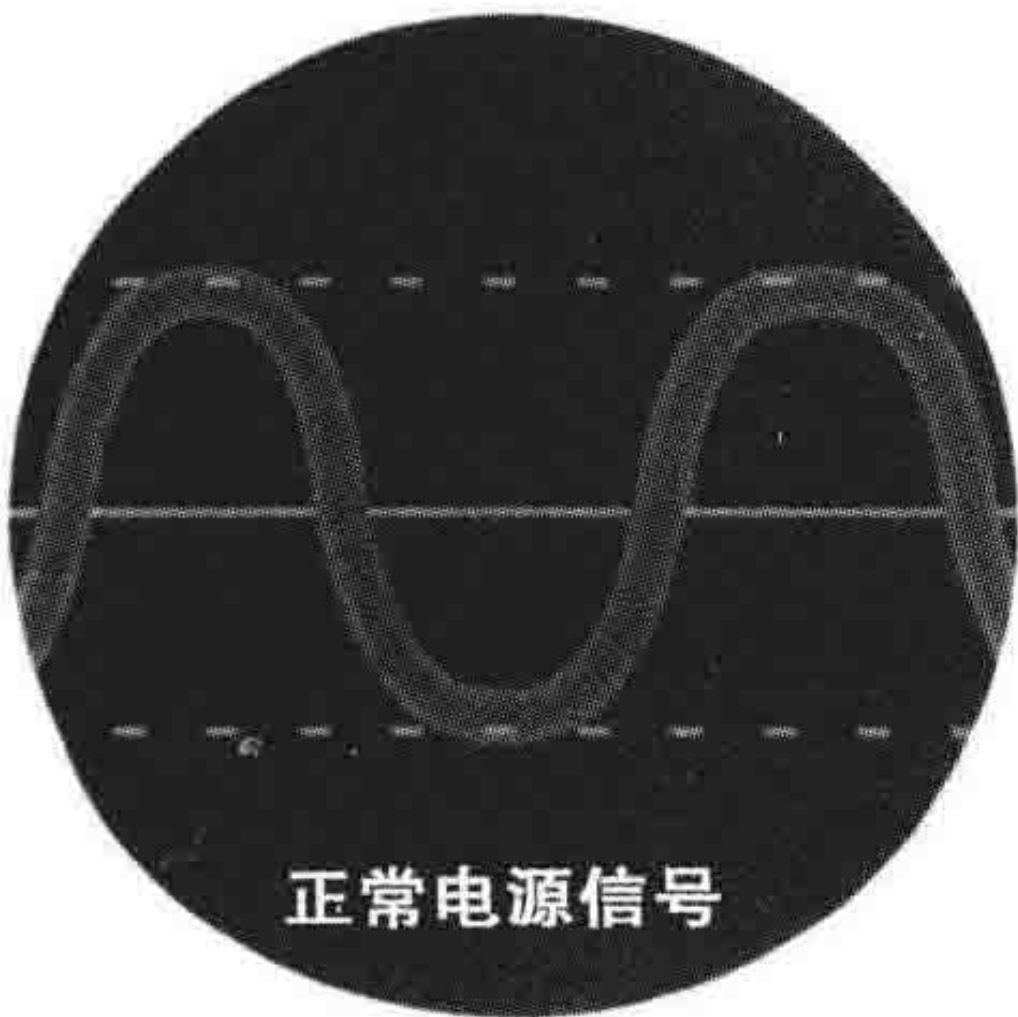


图 23-8 正常电源的正弦波

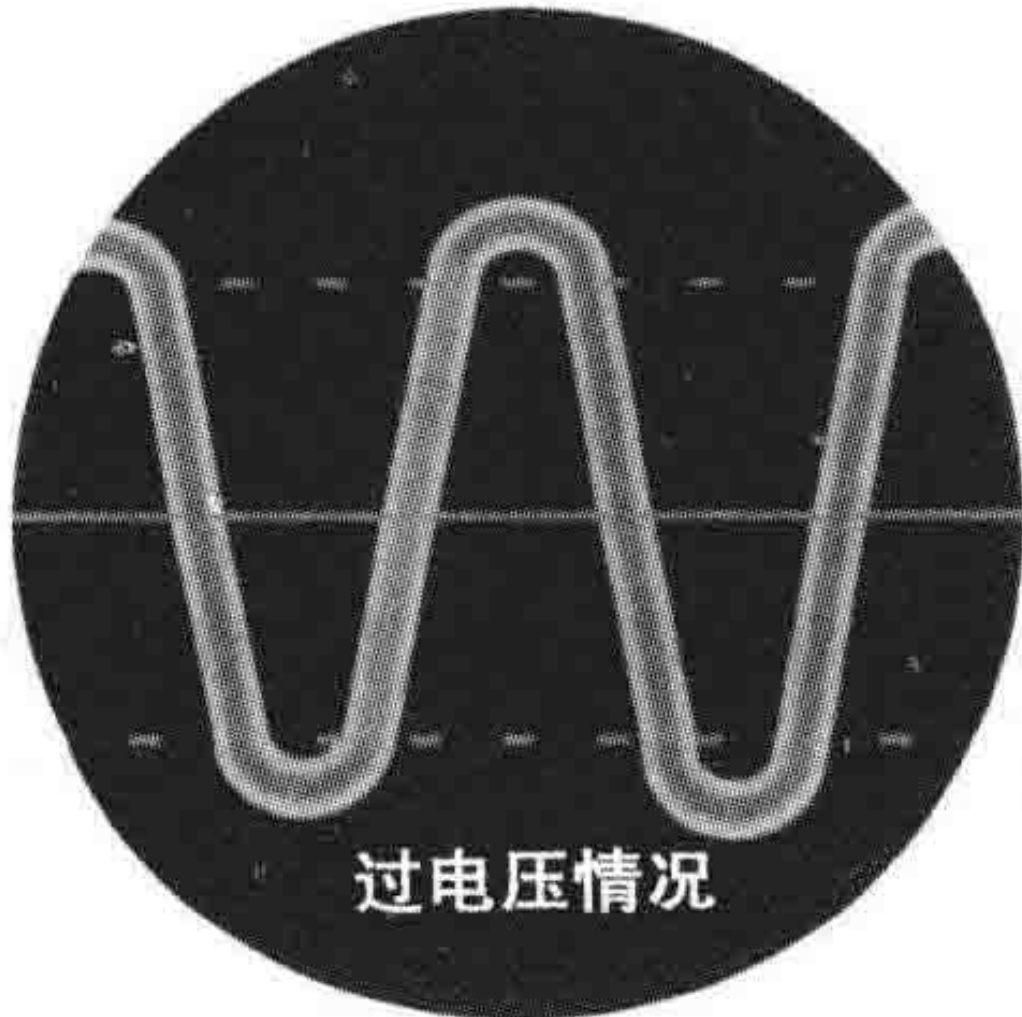


图 23-9 过电压情况

供电线路过载可能引起欠电压现象的出现（见图 23-10）。间歇性的欠电压主要是由带重



负载（如空调设备）起动的电动机造成的。过电压情况不太常见，但是它的破坏性很强。在负载快速变化的设备中会出现过电压情况。

### 23.8.2 电压瞬变

**尖峰电压** 超过正常电压的短时冲击脉冲称为尖峰电压或浪涌电压。尽管其持续时间非常短，但尖峰电压可能超过正常电压的 5 倍或 10 倍。尖峰电压可清除存储器中的数据，产生输出错误或引发多种设备损坏。除了立即损坏之外，还有难以发现的影响，特别是使用寿命会减少。随后而来的随机故障都特别令人烦恼，且费用高昂（见图 23-11）。

日常运行中，引起低能量尖峰的主要原因是电动机的开关操作（感性负载开关）。空调、电动工具、熔炉点火装置、静电复印机、电焊机以及电梯都有可能产生尖峰电压。感性负载开关带来的故障在工厂里十分常见。更大的尖峰通常是由闪电引起的，直接雷击是灾难性的，但是可能性很小，而几英里（1 英里 = 1609.344 米）以外的雷击（有时称为感应雷）可通过公用电力线路进行传输，并且在整条线路上以尖峰电压的形式显现。

**电气噪声** 与彻底的设备损坏相比，计算机的“小故障”是由电气噪声引起的（见图 23-12）。引发尖峰电压的原因同样也可引起电气噪声干扰（低电压时）。其他电气噪声源包括无线电发射器、荧光灯、计算机、商用机器和一些电气设备，如电灯插座、墙壁插座、插头以及不牢固的电气接线。系统组件之间的相互作用也可能会产生足够大的噪声，从而引发错误。尽管大多数电子装置都有内部噪声过滤装置，但是装置本身若处在很高的噪声环境中也会受到干扰。瞬态是目前最常见的电源扰动形式，幸运的是它是最容易处理的。然而，由于电压瞬变的持续时间很短，所以可能很难检测到。

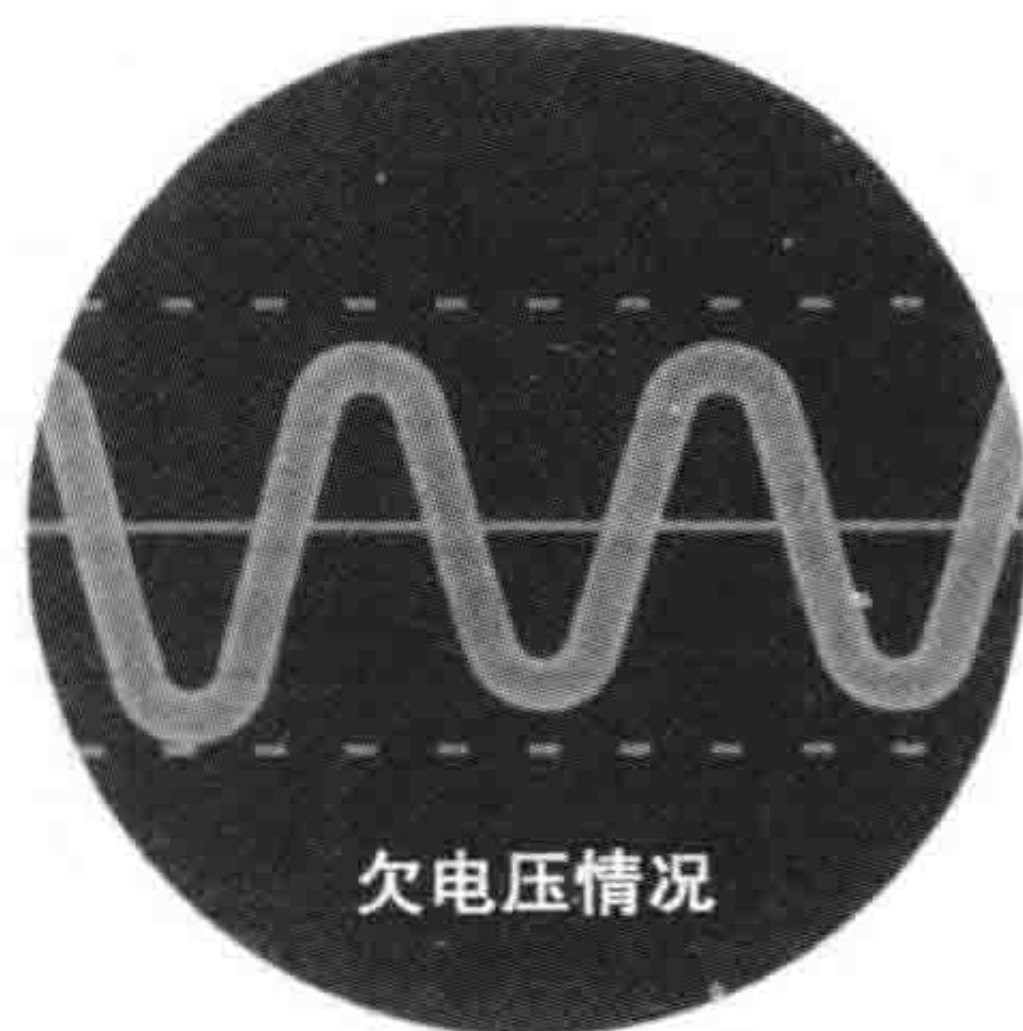


图 23-10 欠电压情况

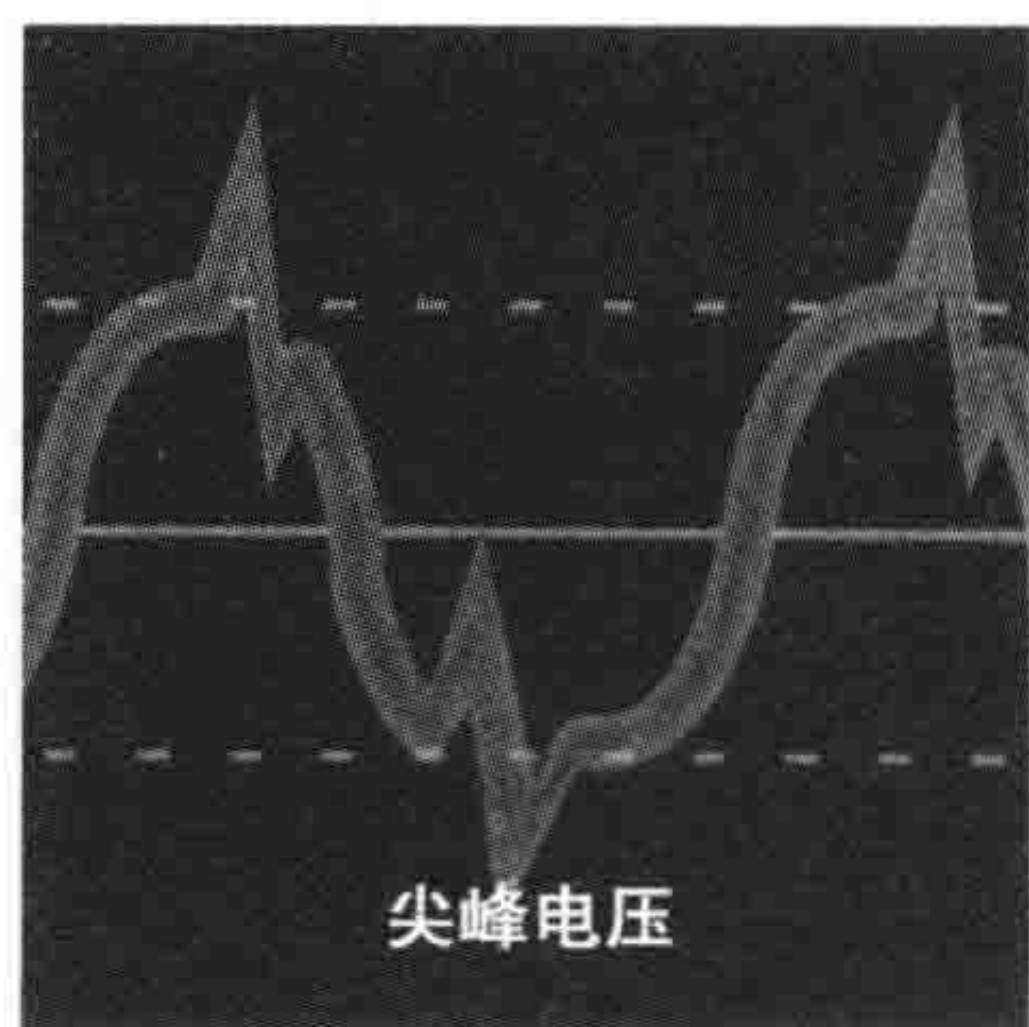


图 23-11 正弦波上的尖峰电压



图 23-12 正弦波电力线的噪声干扰

### 23.8.3 电力中断

电力中断是指供电完全中断。仅中断 15ms 对于敏感装置来说就认为是断电了。电力中断可为装置的使用者带来很多问题，其中最严重的问题是珍贵数据的丢失以及费时的重新编程。

电力中断可能是由比瞬变更大的问题引发的。例如，断电可能由供电设施或现场负载变化、现场设备故障或电力系统故障引起（见图 23-13）。

### 23.8.4 查找短路点

电动机绕组匝间短路的反应就像变压器二次绕组短路一样。绕组短路的电动机空载运转



时，将产生过电流。测量电流不必断开线路，也就是说你可以用测试电流表的分裂铁心将一根电源线钳入测量孔。若电流表的读数比铭牌上满载时的额定电流要高很多，说明电动机可能短路了。

两相或三相电动机中，短路相的局部短路绕组会使电流表的读数变高。当测量每相电流时，这一点就很明显了。

23.9 笼型电动机

感应电动机在额定转速下输出转矩变小，可能是由笼型转子开路造成的。

为了判断哪个转子铜条松动或断开了，在检测转子时可将转子放在短路线圈测试仪中。用分裂铁心式电流表（译者注：钳式电流表）将短路线圈测试仪的 1 根线钳入测量孔，如图 23-14 所示。将开关拨到最大电流量程，打开短路线圈测试仪，检测单元设置成合适的电流测量范围。转动测试仪中的转子，并记录测试仪接通时电流表的数值。转子铜条与短路环的行为类似于短路的变压器二次绕组，测试仪的线圈作为变压器的一次绕组。对于有问题的转子，当断路铜条移动到测试仪磁场中时，电流表的读数会下降，而没有问题的转子，则在转子的任意位置上都基本有相同的电流。

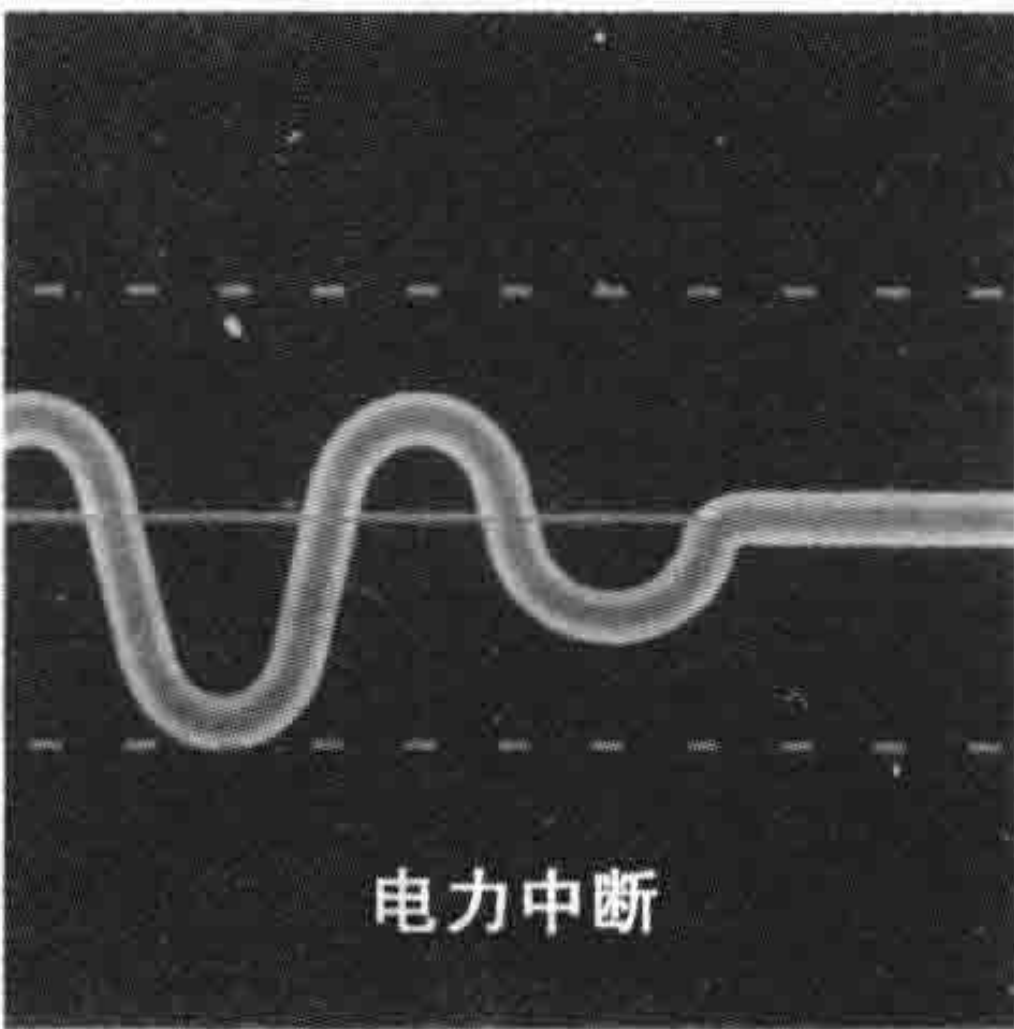


图 23-13 电力中断使正弦波减为零

23.10 检测单相电动机的离心开关

一个有问题的离心开关可能无法在合适的时间断开起动绕组。将分裂铁心式电流表接到一个起动绕组的引线上（见图 23-15），以最终确定起动绕组是否依然连在电路中。注意此时应将电流表置为最大量程。打开电动机的开关，选择合适的电流量程，观察起动绕组电路中是否有电流。如果有电流，就表明当电动机逐渐达到运行速度时，离心开关没有断开。

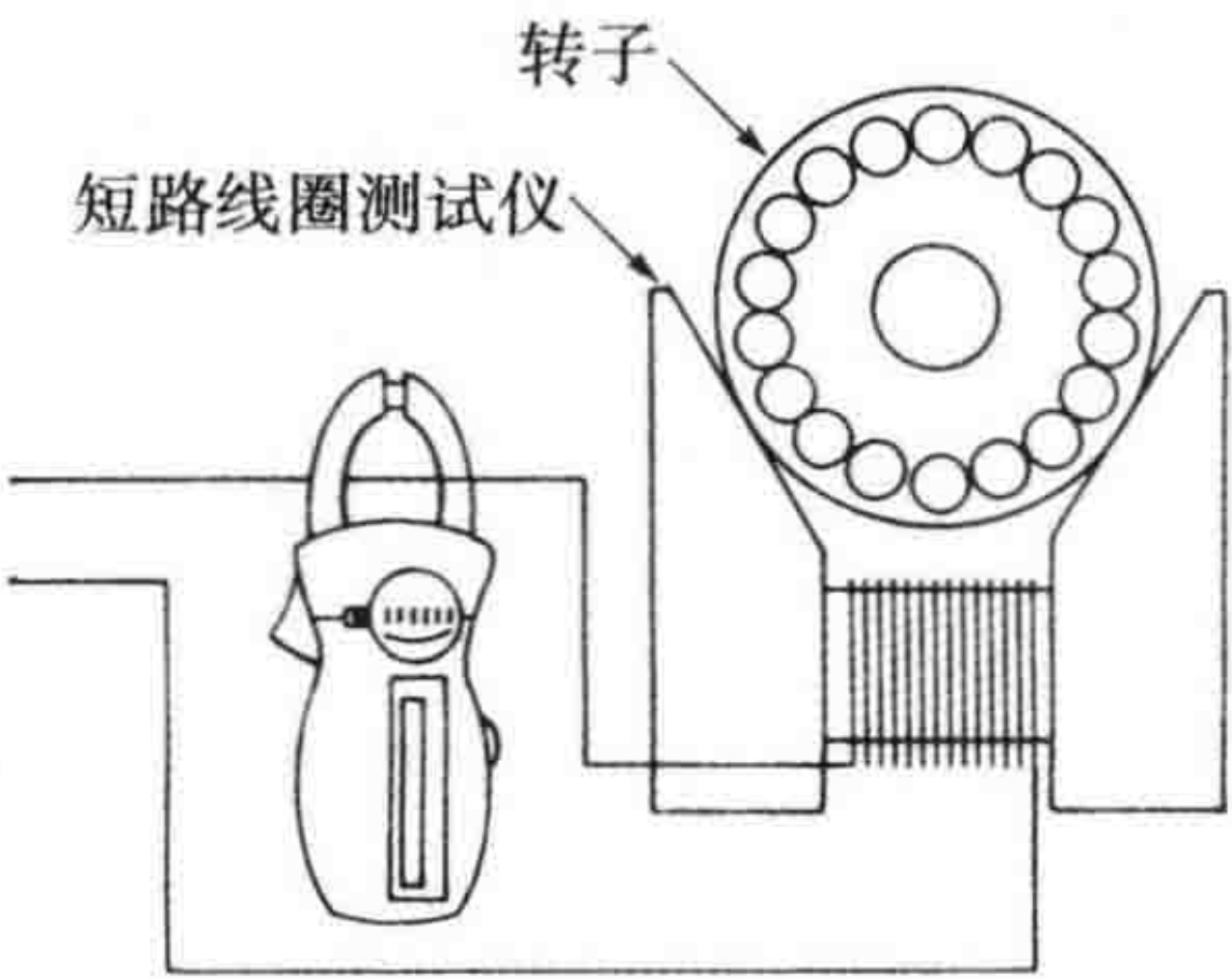


图 23-14 利用短路线圈测试仪检测转子

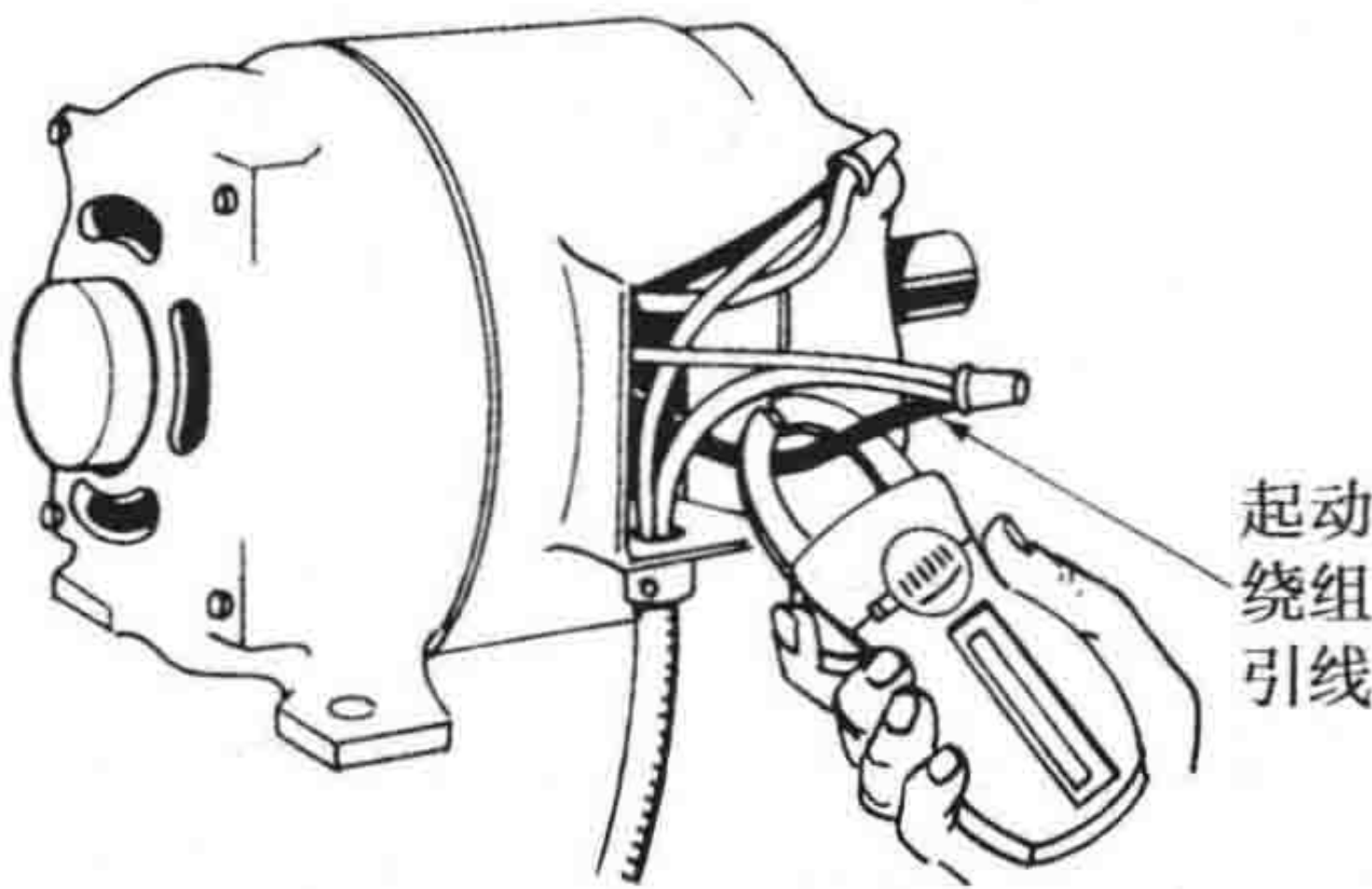


图 23-15 利用钳式仪表检查离心开关  
(Amprobe Instrument 产品)

23.11 检测运行绕组与起动绕组间的短路

利用电流表与线电压检测两个独立电路之间的连通性，可以确定运行绕组与起动绕组之间是否存在短路。断开运行绕组与起动绕组之间的引线，按照图 23-16 所示的接法与测量仪表相连。将测量仪表设置为电压挡，如果两个绕组之间有短路，其读数就会为额定线电压。



23.12 检测电容

对于电容型电动机，有问题的电容常常是引发故障的原因。由于可能存在短路、断路、接地，以及不够大的微法级电容，因此，应当经常检测电容，以判断其是否处于良好的工作状态。要想检测接地电容，可将测量表设置在合适的电压量程上，并且和电容一起接到电路中，如图 23-17 所示。若测量仪表的读数为额定线电压，则表示电容器接地。若电压读数比线电压要小些，则表明电容器高阻抗接地。若电压很小或没有电压，表示电容未接地。

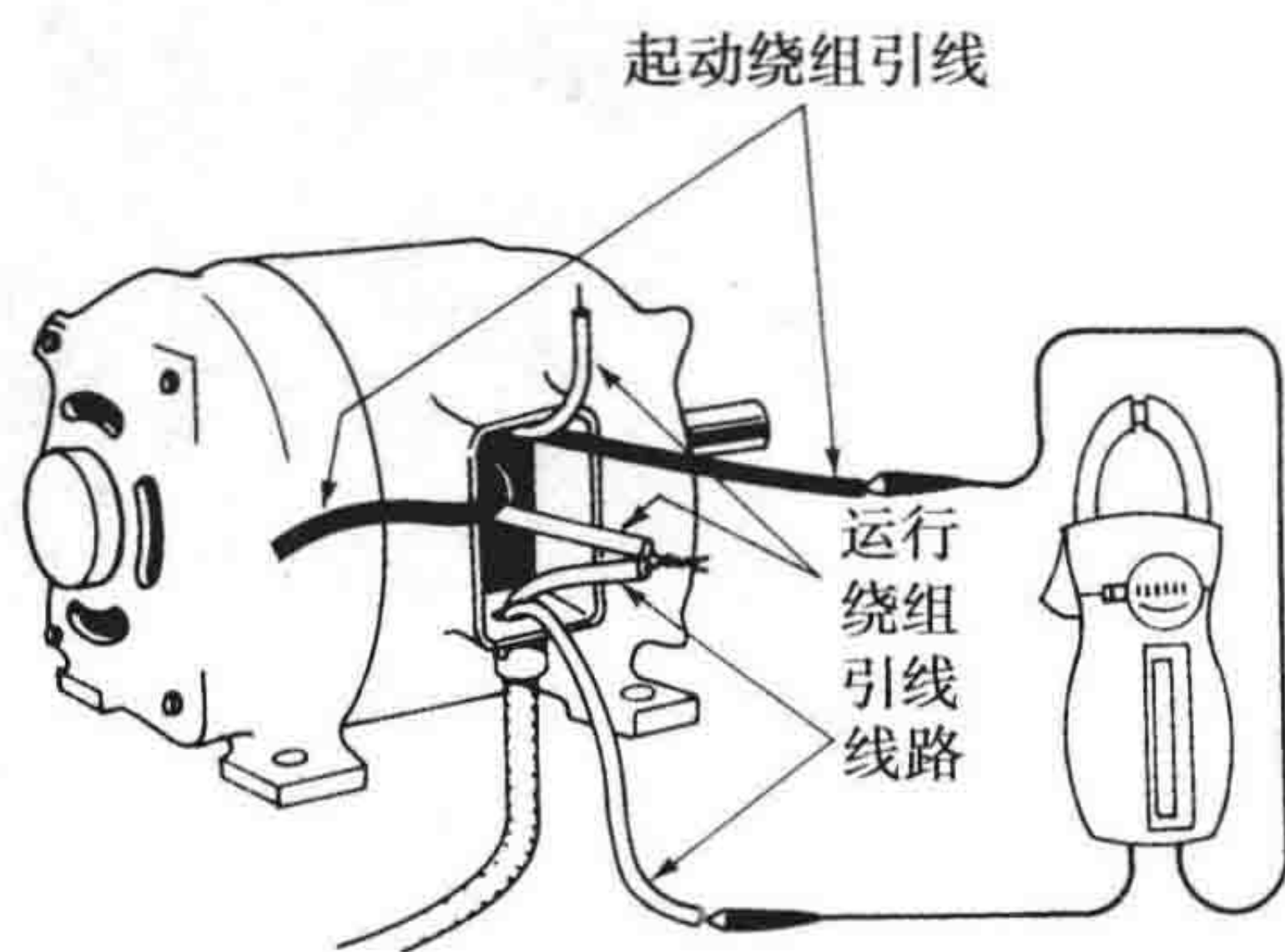


图 23-16 利用钳式仪表查找短路绕组 (Amprobe Instrument 产品)

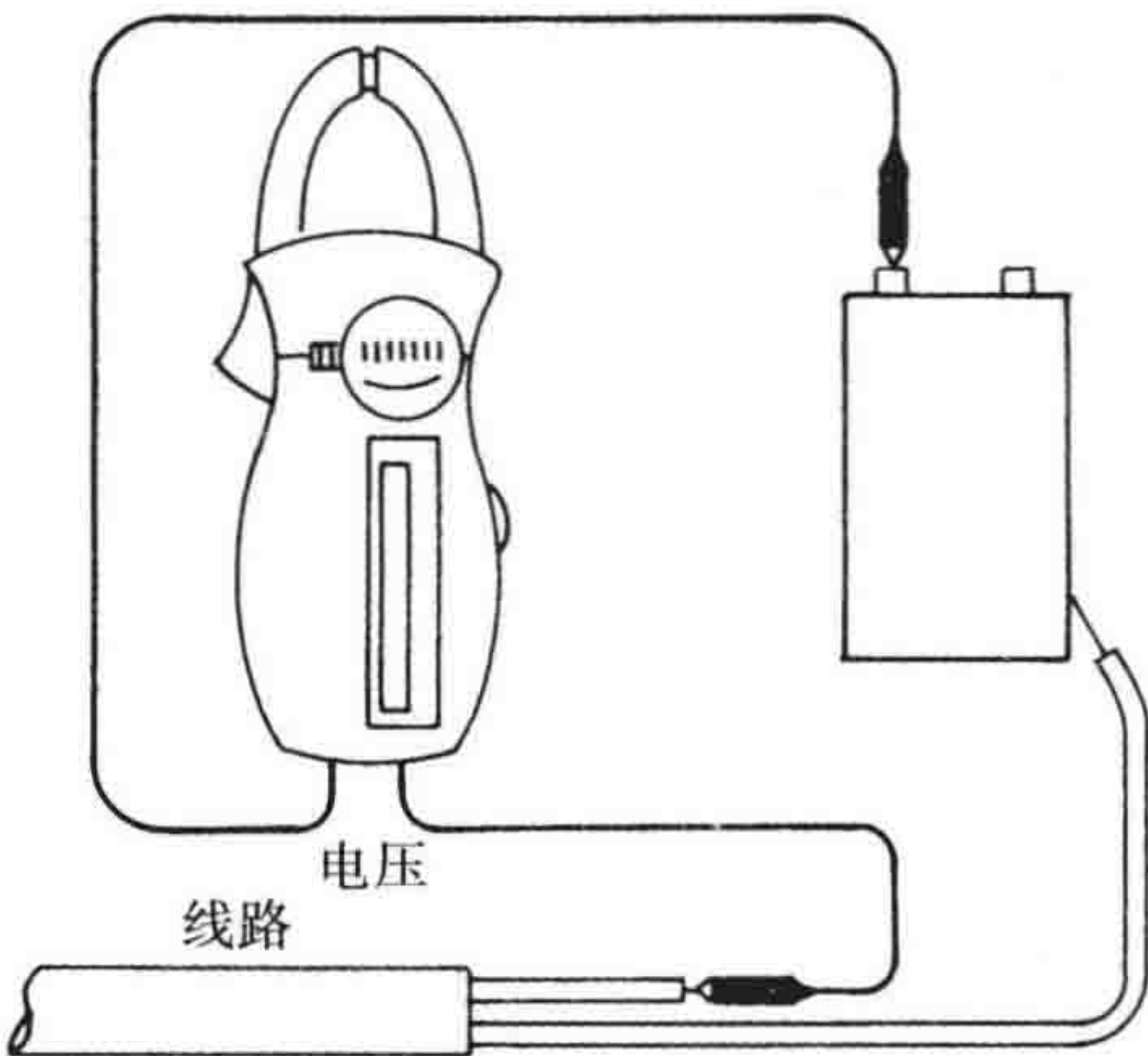


图 23-17 利用钳式仪表测量接地电容 (Amprobe Instrument 产品)

测量电容值

为了测量电容值，应先将测量仪表调至合适的电压量程，读取线电压值。然后将其调至合适的电流量程，读取流过电容的电流值（见图 23-18）。需要注意：由于规定电动机起动所用的电解质电容器为间歇工作方式，所以在测量过程中，要确保电容连在线路上的时间很短。最后，假设电路频率为 60Hz，将电压值与电流值代入下面公式，即可计算出电容值（单位：μF）：

$$C = \frac{2650 \times \text{电流值}}{\text{电压值}}$$

若电流表显示没有电流，则很明显电容是开路的。被短路的电容很容易检测到，当闭合线路开关测量线电压时，熔断器将会断开。

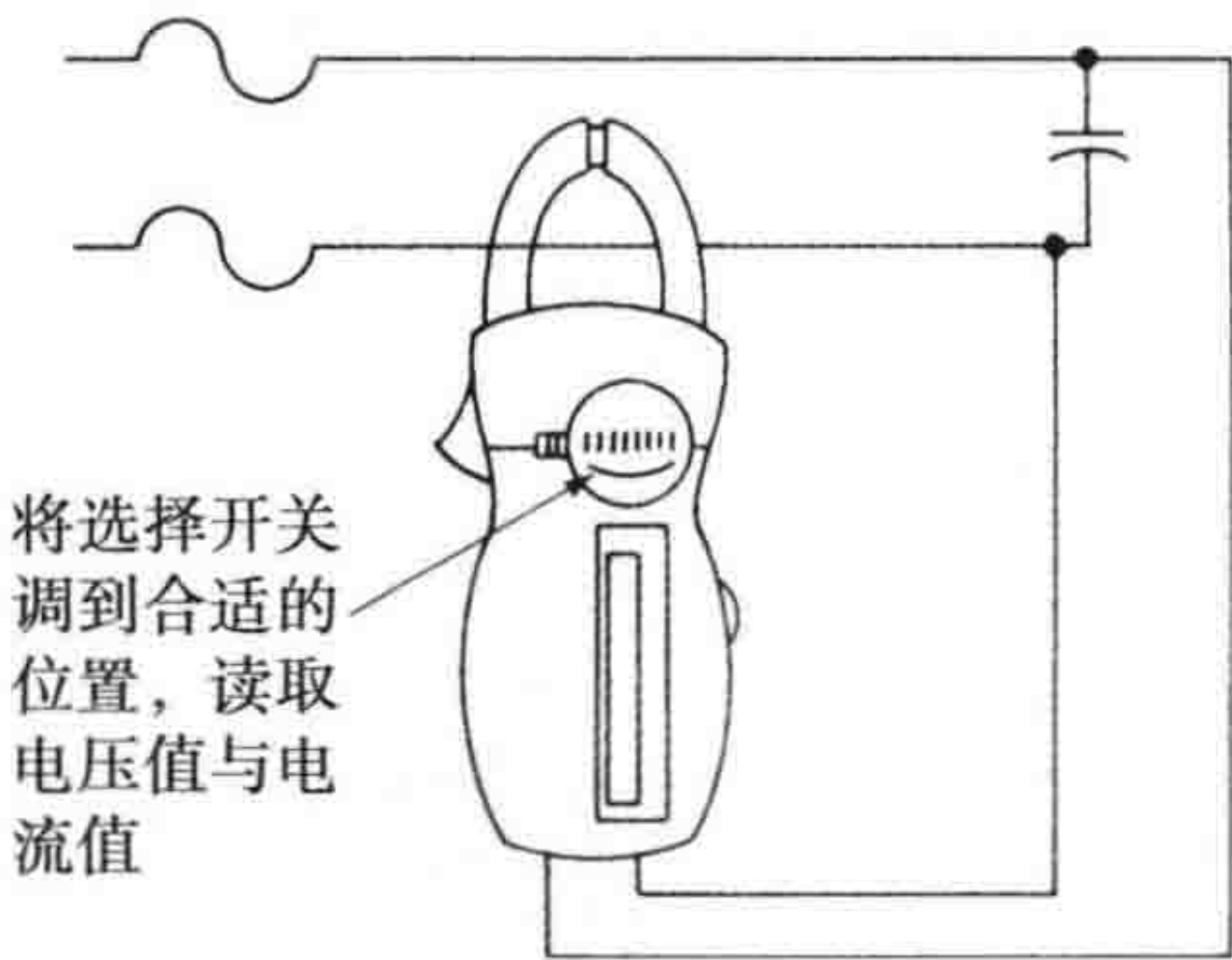


图 23-18 利用钳式仪表测量电容值 (Amprobe Instrument 产品)

23.13 利用测量仪表检查故障

使用电压表与欧姆表可查出各种故障。读者应当能够读懂原理图，并正确地进行电压测量或电阻测量。读数错误表示可能存在问题。对于一个给定系统，故障排除表有助于查出故障。一旦你注意到正常运行的系统出现了一些故障现象，就需要断开电源，将系统的一部分隔离，再使用欧姆表进行测量。一旦确定了问题所在，就可以根据预期的读数锁定故



障位置。超出预期读数 10% 即视为发生故障，大多数情况下，必须替换组件以确保正常运行且不会发生返修。

### 23.13.1 利用电压表检修电动机

若电气设备的线电压与铭牌上的额定值相差  $\pm 10\%$  以内，那么大多数电气设备的运行状态都是令人满意的。少数情况下，10% 的电压跌落可能会导致故障，这种情况一般是满载的感应电动机在起动或运行时发生的。线电压下降 10%，转矩会下降 20%。

铭牌上的满载额定电流是制造商生产线上产品的近似平均值。任意一个设备实际输出的电流值可能与额定值有  $\pm 10\%$  的差别。然而，若电动机的负载电流超出额定电流 20% 或更多，电动机会由于较高的运行温度而减少使用寿命，应当弄清楚电流过大的原因。很多时候，可能仅仅由于电动机过载。负载增长的百分率与负载电流增长的百分率不一致。例如，一台单相感应电动机的电流增加 35%，可能对应于输出转矩增加了 80%。

只有通过实际测量，才能分析电气设备的运行状态与运行条件。测量的端电压及电流值与额定值相比，能确定设备是否在电气规范内运行。

两种基本的测量需要使用电压表与电流表。测量电压时，需要将电压表的测量引线与被测线路的接线端子相接触。测量电流时，常规的电流表要与线路串联，这样电流才会流过电流表。

在电路中加入电流表时，要先将设备断电，断开线路，然后再将电流表接入电路中，之后起动设备读取读数。测量完毕后，移走电流表之前也要做同样的事情。接下来还要做其他耗时的检测以确定故障所在位置。然而，使用钳式电压电流表可以避免上述操作（见图 23-19）。

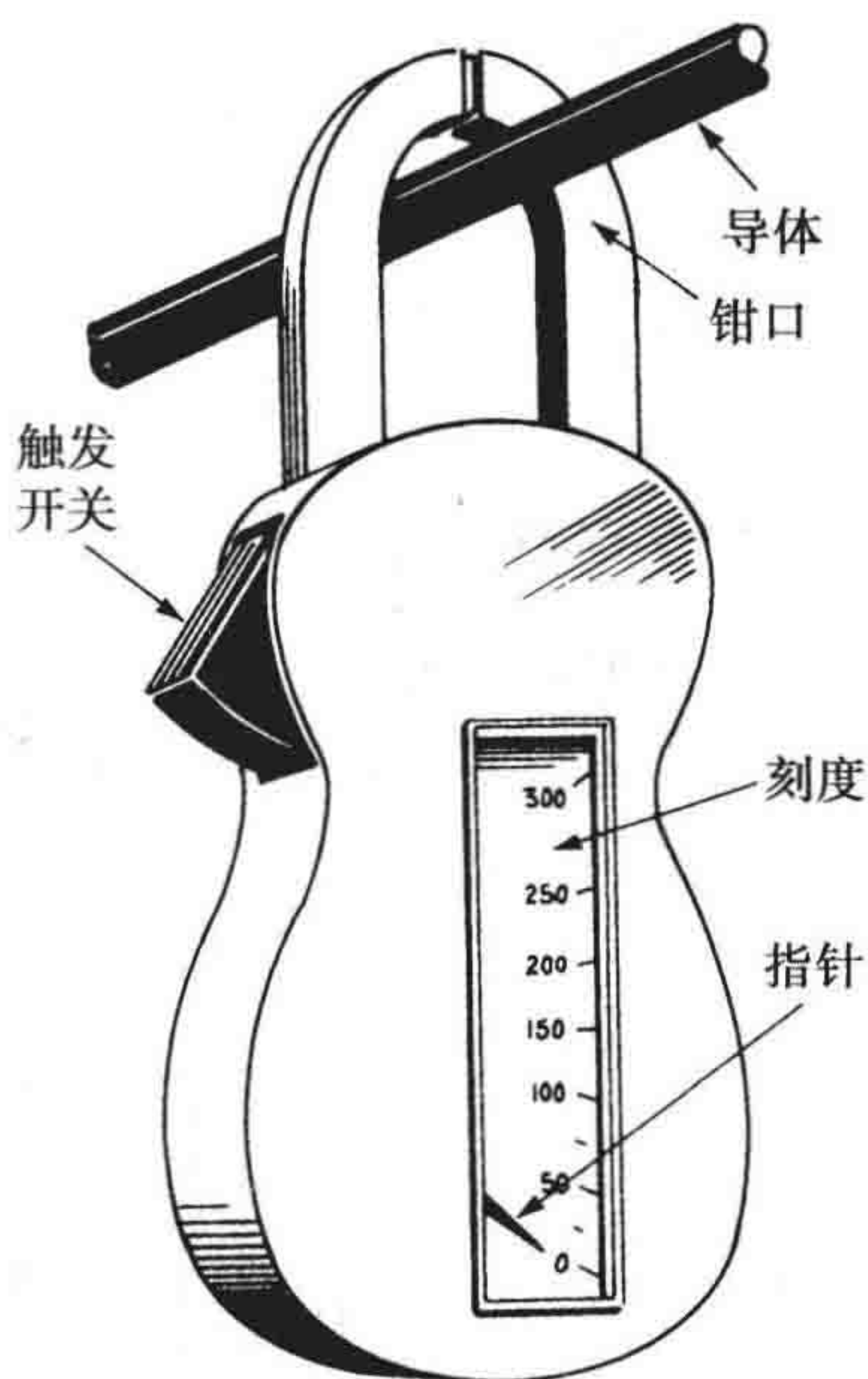


图 23-19 钳式电压电流表（Amprobe Instrument 产品）

### 23.13.2 钳式电压电流表

图 23-19 所示的袖珍电压电流表可以解决运行中的大多数故障，无须断开线路即可获取载流导线的电流值。该仪表是根据变压器原理进行工作的，通电导线四周具有磁力线，磁场强度是导线电流的函数。请回忆一下之前我们讨论过的变压器，其铁心中的磁场强度决定了二次侧的电流。此处用来检测电流值的原理与之相同。

为了实现变压器效应，按动触发开关使待测线路被分裂式铁心所环绕。除了测量终端电压与负载电流之外，分裂式铁心电流电压表也可追踪电动机维修中的电气故障。

### 23.13.3 查找接地点

要想判断绕组是否接地或绝缘电阻是否很低，可将测量仪表与电动机测试引线按图 23-20 所示的方式连接。假定可用的线电压约为 120V，将测量仪表调到最小的电压量程。若绕组与外壳短接，那么仪表的读数将为额定线电压。



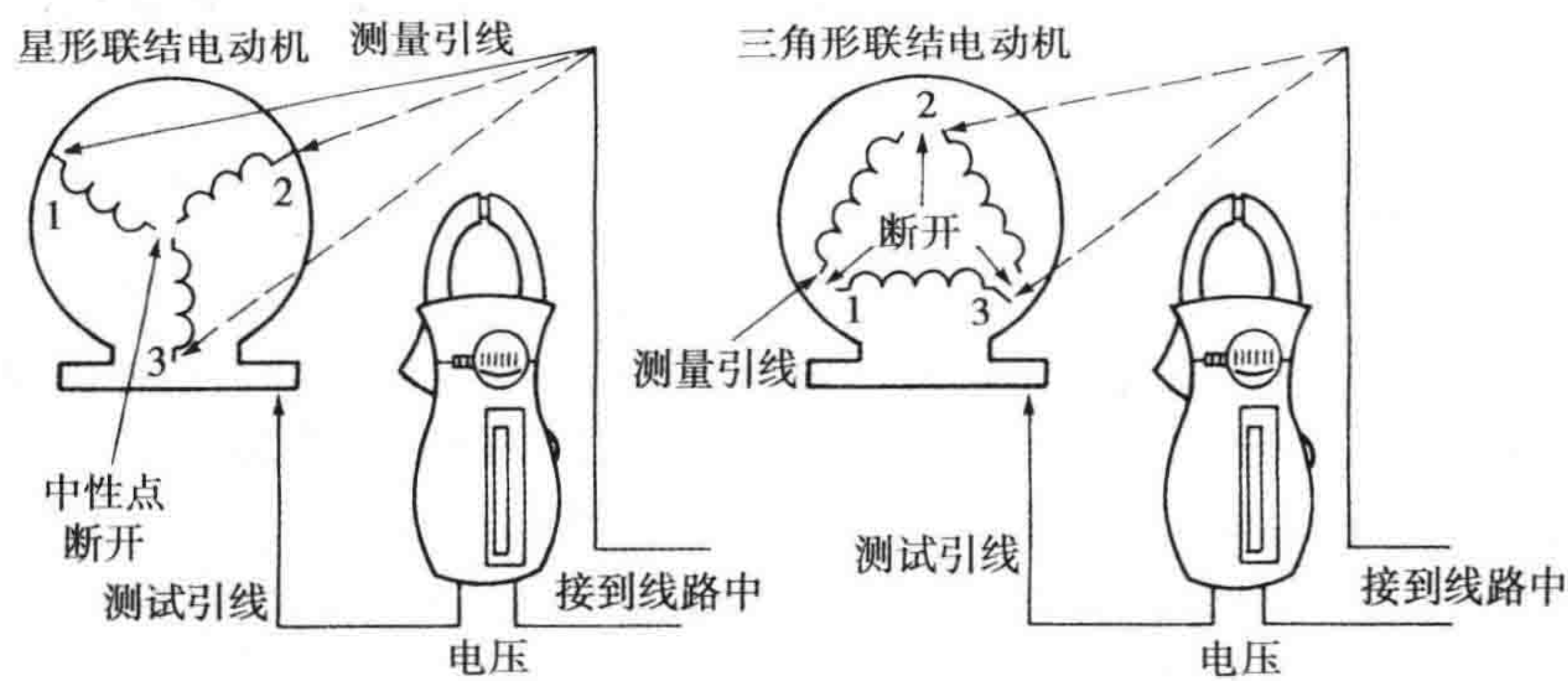


图 23-20 电动机的接地相

接地电阻呈现高阻值仅是低绝缘电阻的个别情况。高阻接地所产生的电压读数会比线电压略小一些。若读数很小或基本没有，则表明绕组未接地。这主要是由于绕组与硅钢叠片间的电容效应造成的。

为了获取绕组接地的确切位置，需要断开连接的跳线再进行检测。通过额定线电压值即可判断出接地位置。

23.13.4 查找开路点

为了检测绕组是否开路，要将测量引线按图 23-21 与 23-22 所示的方式连接。若绕组开路，电压表读数将为零。若电路未开路，则电压表读数将为额定电压值。

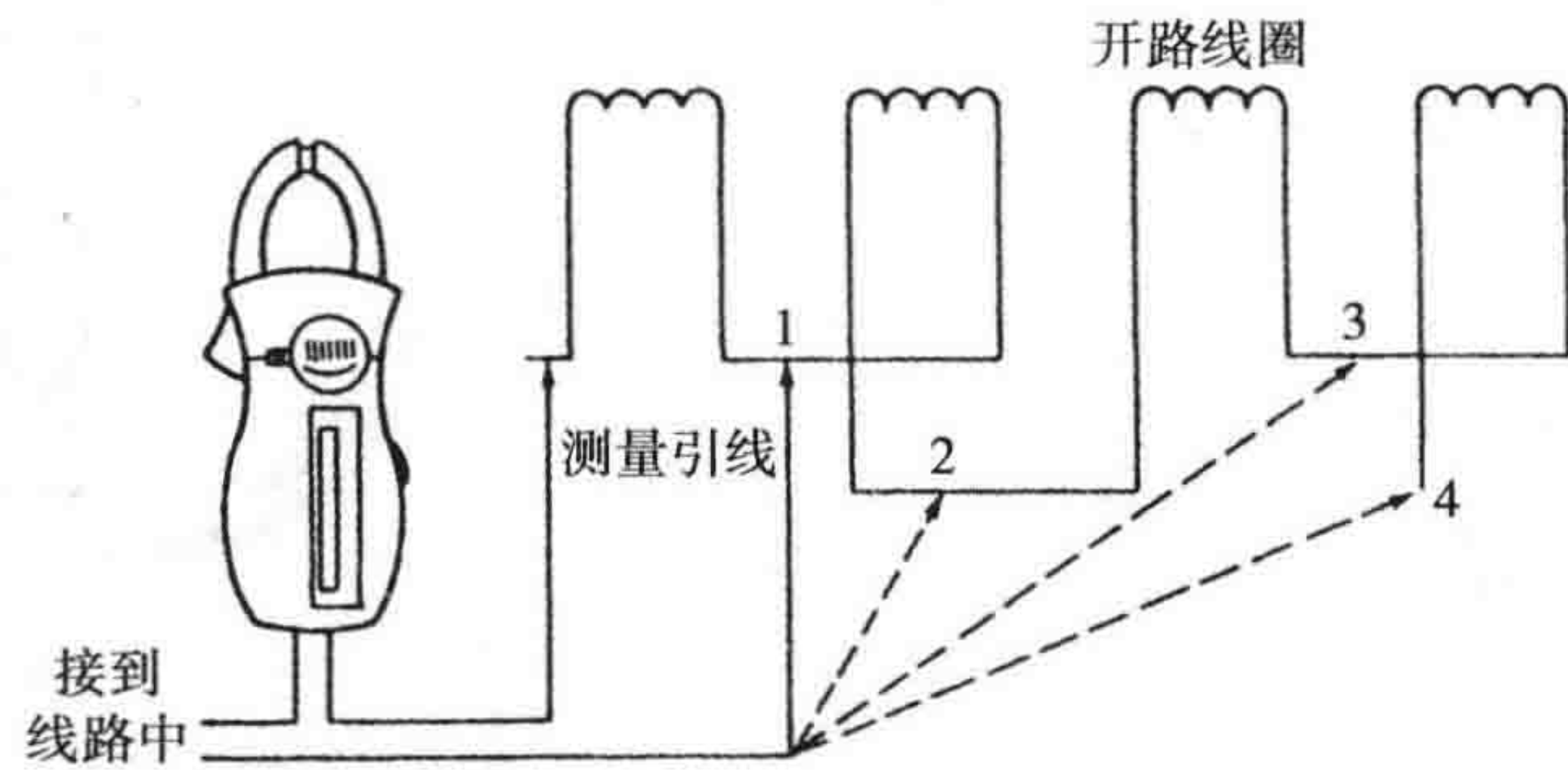


图 23-21 隔离开路相

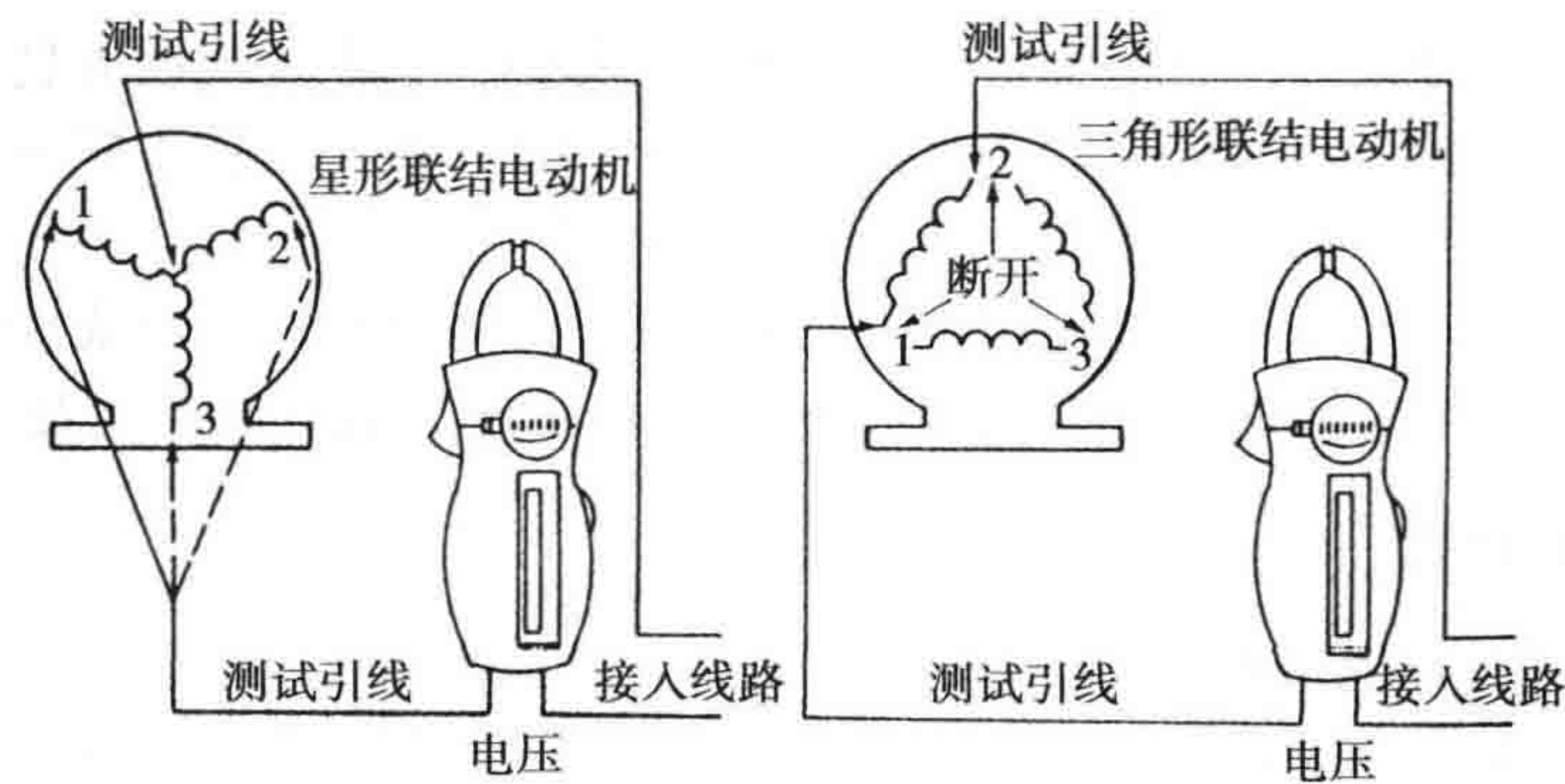


图 23-22 检测开路相



23.14 故障排除指南

排除故障最便捷的方式，就是查看故障现象并在表格中查找原因。它既可对故障起因进行快速排查，又可对故障排除提出可行的建议。三相电动机及其起动器可通过这种方式快速检查。表 23-3 与表 23-4 有助于排除电动机与起动器的故障。

表 23-3 三相电动机故障排除指南

故障现象	原因	排除方法
输入电流过高（三相）	电流表读数的精确度	先检查三相电流表的读数是否准确
空载运行（与负载断开）	线电压过高：超过铭牌值的 5%~10%	咨询供电公司——使用更低的变压器抽头减少线电压
运行时过载	电动机过载 电动机的额定电压与电源电压不匹配	减小负载或使用更大功率的电动机 用额定电压满足要求的电动机来替换  联系供电公司——使用不同的变压器抽头以调整线电压
输入电流不对称（与平均输入电流相比有 5% 或更多的偏差）  注意：电压略微不稳定将导致电流有很大程度的不稳定，这取决于不稳定的量级及负载的大小，电动机的某条或多条输入线路的电流可能会大大超出电动机的额定电流	产生不对称线电压的原因是： 1. 电源 2. 系统负载不对称 3. 高连接阻抗 4. 供电线路的线径不够大 电动机不合格	使用高质校准过的电压表认真测量电动机每相的端电压  若无法判断是电源还是电动机发生故障，进行如下检查： 将电动机的 3 根输入电源线朝一个方向调整（例如，将 1 线移至电动机引线 2 上，2 线到引线 3 上，3 线到引线 1 上） 1. 若电流不对称现象出现在输入电源侧，则故障出在电源侧 2 若电流不对称现象出现在电动机端线上，则故障出在电动机上 检修电源电压的对称性或替换掉电动机，采取哪种取决于上面 1 与 2 的结果
电压降过大（比正常电源电压高 2% 或 3% 以上）	起动负载或运行负载过高 电源不合适 电源线规格不足 高阻抗连接 每相引线在不同的导线管中	减小负载 咨询供电公司 增加线径 检查电动机引线并消除不好的连接 根据美国国家电气规程，三相引线必须在同一导线管中（仅用于带磁性的金属导线管中）
起动时过载继电器跳闸，也请参考“起动缓慢”部分	由于有高负载惯性，起动缓慢（10~15s 甚至更多） 电动机端子电压过低	减小起动负载 必要时使用更大功率的电动机 提高电源容量或增加线径
运行时过载	电动机过载 输入电流不对称 单相运行 电压降过大 频繁起动或间歇过载 起动器环境温度过高 继电器型号错误	减小负载或使用更大功率的电动机 平衡输入电压 排除 排除（见上面） 减小起动与间歇过载的频率或换用更大功率的电动机 降低环境温度或从外部送入冷空气 按照电动机铭牌电流更换合适的型号，继电器本身具有一定的对电流工作系数的矫正 参照美国国家电气规程
电动机运行时过热	过载  通风设备堵塞 1. 全封闭扇冷式电动机（TEFC） 2. 开放分布式处理（ODP） 环境温度高于 40℃或 105 ℉ 不对称的输入电流 单相运行	减小负载或负载峰值与定期起动的次数，或者使用更大功率的电动机 清洁外部通风系统，检查风扇 把内部的通风管道吹扫干净  消除对电动机通风系统的影响 降低环境温度或从外部送入冷空气  提供对称电压，检查并紧固电动机引线 排除



(续)

故障现象	原因	排除方法
无法起动（发出嗡嗡声，温度升高）	单相运行  转子或轴承闭锁	关闭电源，消除单相运行的情况 检查并紧固电动机引线 关闭电源，检查转轴旋转是否灵活 确保三相起动器中过载继电器的容量合适 参照美国国家电气规程
带载运行时噪声	单相运行	关闭电源。若电动机无法重启，则是由单相运行引起的，消除 确保三相起动器中过载继电器的容量合适 参照美国国家电气规程
起动缓慢（小型电动机起动时要 10s 或更多时间，大型电动机要 15s 或更多时间）  全压起动 降压起动  Y-△起动 PWS 自耦变压器	  过大的电压降（5%~10% 的电压降会导致起动转矩下降 10%~20%） 高惯性负载 电压下降过大 起动转矩降低 起动转矩降至 33% 起动转矩降至 50% 起动转矩降低 25%~64%	  联系供电公司；检查系统，消除电压降  减小起动负载或增加电动机功率 检查并消除  减小起动负载或增加电动机功率 选择具有高起动转矩的起动方式 降低起动器一次动作与二次动作的延迟时间，尽快将电动机并入正常线路
带负载运行时速度明显低于铭牌上的额定速度	过载 电压过低  铭牌错误  测量转速的方法不准确	减小负载或增大电压 注意：正常情况，过载或电压降为 10%~15% 时仅会减速 1%~2% 减速过多要引起重视 若速度明显降低（例如，从 1800r/min 到 1200r/min），检查规范钢印（位于定子顶部）与铭牌。若二者代号不一致，替换铭牌上的相关数据 用其他的设备或方法检测测量仪表
过度振动（机械性）	失去平衡 a. 电动机安装 b. 负载  c. 带轮或联轴器  d. 电动机  e. 紧凑式耦合安装不正确	确保电动机安装紧固 断开传送带或联轴器；重启电动机。若振动消失，则不平衡的原因在于负载 移走带轮或联轴器；将轴槽上 1/2 位置的栓用胶带封紧，重启电动机，若振动消失，则不平衡的原因在于带轮或联轴器 若检测了 a、b、c 后，振动还未消失，不平衡的原因在于电动机，更换电动机 检查并重新安装电动机与被驱动设备之间的连接
轴承出现噪声（听轴承运行的声音） 平稳的中等强度的嗡嗡声 高声轰鸣 低沉的隆隆声 混乱的咋嗒声	正常的磨合过程 轴承的内部契合得太紧 轴承的内部契合得太松 轴承损坏	轴承没问题 替换轴承，检测契合度 替换轴承，检测契合度 替换轴承，避免： 1. 机械损伤 2. 润滑油过多 3. 润滑油使用错误 4. 固态污染物 5. 电动机中进水 6. 紧凑式耦合安装不正确 7. 传送带过紧



(续)

故障现象	原因	排除方法
机械噪声	是被驱动设备的噪声还是电动机的噪声	将电动机与驱动设备分离开，检查噪声大小是否有差别
	电动机噪声由于底座谐振而放大	给电动机底座加上垫圈或抑制谐振源
	通过驱动器，被驱动设备的噪声传递到电动机上	减小驱动设备的噪声或抑制其向电动机传播
	紧凑式耦合安装不正确	改进使其正确

来源：Lincoln Electric 公司。

表 23-4 检修电动机起动器

故障现象	原因	排除方法
磁性元件与机械组件		
磁极发出嗡嗡的噪声	磁极表面未对准或装配不当	重新对准或放置磁极组件
	极面上有杂质（尘土、线头、锈迹等）	清洁磁极面（但不要锉），必要时进行更换
	线圈电压较低	检测系统与线圈中的电压，观察起动时电压的变化情况
很大的嗡嗡声	屏蔽线圈断开	更换屏蔽线圈或磁极组件
不能拉出和推回	电压过低	检测系统电压、线圈电压，注意起动过程中电压的变化
	使用错误的电磁线圈或连接错误	检查连线、线圈名称等
	线圈断路或短路	用欧姆表检查，出现问题就更换
	机械性阻塞	断开电源，检查磁极与触点组件是否能灵活动作
无法释放复位	磁极面或磁极滑块上有黏性物质	用非挥发性的溶剂、脱脂液或者汽油（小心）进行清洁
	电压或线圈没有移除	短路推进触点故障（通过检查线圈电路可找到准确的原因）
	磨损或锈蚀导致黏合	清洁或更换磨损部件
	磁路气隙太小导致剩磁	更换磨损的磁性部件或附属件
清 洁		
触点有咔嗒声（可能来自于磁性部件）	屏蔽线圈损坏	更换相关部件
	控制电路中触点导通的连续性较差	改善触点导通的连续性或利用保持电路自锁（三线控制）
	欠电压	改善电压条件，检测起动过程中电压骤降的情况
触点烧结	浪涌电流异常	使用更大容量的接触器或者检测是否有接地、短路或过大的负载电流
	快速点动	安装功率更大的点动装置，或提醒操作员注意
	触点压力不足	替换触点弹簧，检测触点支架是否变形或损坏
	低压导致漏磁	改善电压条件，检查起动时电压骤降的情况
	杂质使触头无法闭合	用非挥发性溶剂清理触点。小电流或低电压的触点、起动器以及控制部件要用这类溶剂进行清理，然后再用丙酮清除残留溶剂
	短路	消除短路故障，检查并确定熔断器或断路器的规格是否合适
触点寿命较短或过热	打磨或覆盖了东西	不要打磨银触点，粗糙的污点不会影响或降低效率
	中断过高的电流	安装更大容量的装置，或者检测是否有接地、短路或过高的电流情况
线 圈		
开路	机械损伤	处理和存放线圈时要小心，更换线圈



(续)

故障现象	原因	排除方法
线圈焦糊（过热）	电压或环境温度过高	检查应用场合与电路，线圈在额定电压的 85%~110% 下可正常工作
	线圈不匹配	检测线圈的额定值，若不匹配，则需更换成匹配的
	机械损伤或腐蚀引起的线圈短路	更换线圈
	欠电压，无法形成磁场	调整系统电压
	磁极面上有灰尘或锈迹，使气隙变大	清理磁极面
	持续低压	根据当地规程的要求处理、使用低压系统保护等方法
过载继电器		
跳闸	持续过载	检查电动机或电气设备的接地、短路以及过载导致的电流过高。检查电动机绕组的接地电阻
	连接松动	清理并紧固触点，包括负载线路与发热元件的安装螺钉
	加热元件不匹配	检查加热元件的型号与环境温度
无法跳闸（导致电动机被烧坏）	机械黏合、灰尘或腐蚀等	清理或更换
	不匹配的热元件或是通过跳线方式省略了热元件	重新检查热元件的规格和尺寸，必要时给予纠正
	校准调整错误	联系厂家。除非是有厂家监督，否则不推荐进行校准调整。通常将产品退回到工厂进行校准检查
手动起动器		
无法操作（机械的）	包括弹簧在内的机械部件的磨损或破损	更换需要替换的部件
	触点接触不良或其他异常原因	替换触点部分，重新检查操作
过早跳闸	电动机过载、不匹配的热元件或使用错误	检查环境，并根据需要更换或调整
按 钮		
机械问题	由于污垢或残留物导致堵塞	检查、清洁并清除
	触点弹簧损坏	更换触点弹簧
电气问题	触点污染和腐蚀	清洁
	过于频繁的点动	安装较大规格的设备、检查点动的额定值或提醒操作人员
	触点压力过弱	更换触点弹簧，检查弹簧支架是否发生变形或损坏
	触点表面上有污垢或异物	用非挥发性溶剂清洁触点
	短路	清除短路故障，检查并确认熔体或断路器规格是否正确
	连接松动	清洁并加固
	持续超载	安装较大的设备或检查电动机负载电流是否过大
	过度磨损	高于正常电压会带来不必要的压力，造成机械磨损
触点，支架，褪色	连接松动	拧紧或更换硬件

来源：由 Square D 公司提供。  
注：任何触点的更换应该包括完整的更换，包括支架弹簧和螺钉等。

23.15 电动机寿命

小功率交流电动机的定子绕组可满载运行很多年。然而，由于下列因素的影响，绕组寿



命可能会缩短：

- 机械损伤会使绝缘产生薄弱点。比如电动机维护时的不当操作会产生剧烈振动，可能造成机械损伤。
- 过度潮湿会导致绝缘老化。
- 高绝缘压力，如冲击电压或过大的输入电流可引起电动机过热以及绝缘老化。
- 高温将降低绝缘系统耐受机械振动或电气波动的能力。高温通常是由电动机安装不当或应用不当引起的。

不管故障是由什么原因引起的，最明显的结果就是绝缘体的热降解或烧坏。温度越高，绝缘体老化的速度越快。其实，绕组温度每升高 10℃，绝缘体的寿命就会减少一半。因此，要想延长绕组的使用寿命就要为其提供合适的工作温度。

23.15.1 通风设备

一般情况下，强制通风是感应电动机内置的设计特点。通风槽堵塞、鼓风机故障或高海拔地区较低的空气密度都会使冷却空气减少，从而导致过热，缩短绕组的使用寿命。

23.15.2 环境温度

电动机的绝缘系统通常设计其运行环境温度最高为 40℃（104 ℉）。环境温度升高到 40℃ 以上时就需要降低电动机的额定值，否则电动机的寿命会缩短。使进气温度升高的因素包括将电动机放置在其他设备的排气口与高温位置。

将图 23-23 所示的环境因素值与电动机的额定功率值相乘，就可算出在环境温度较高时电动机需要降低的额定值。图 23-23 所示的环境因素也可用于环境温度低于 40℃ 时增大电动机的出力。

当电动机降低出力或增加出力时，启动转矩、牵出转矩以及最大转矩与铭牌上的额定值会保持一致，但是轴承、机轴与其他部件的使用寿命是新额定值的函数。

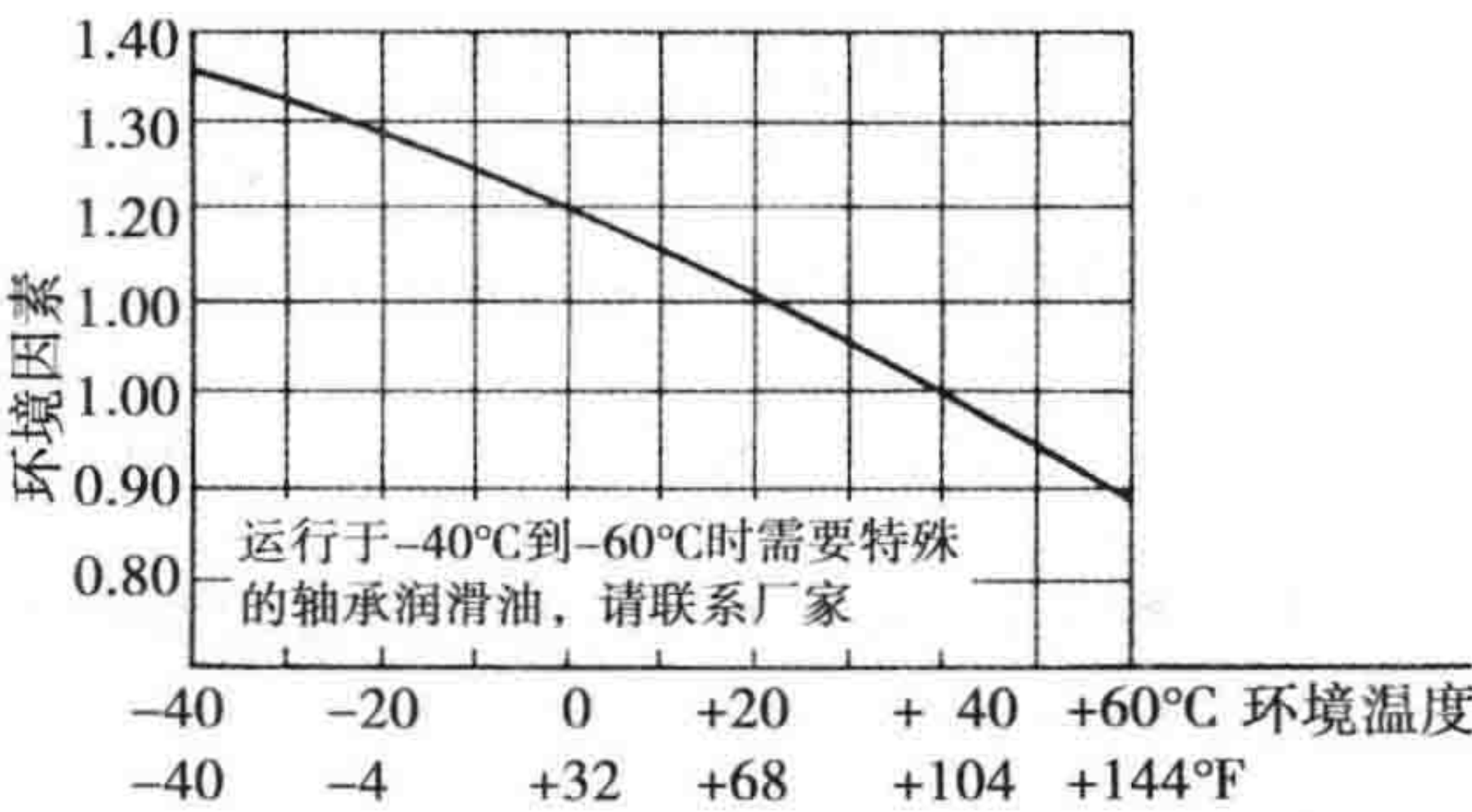


图 23-23 改变环境温度可降低电动机额定值 (Lincoln Electric 公司产品)

23.16 运行特性

当电动机运行在额定频率下，但电压偏高或偏低时，电动机的运行特性就会改变。表 23-5 所示为电动机的运行特性以及运行电压为额定电压的 ±10% 时运行特性的改变。电压剧烈变化所导致的绕组故障与过载所导致的绕组故障完全相同，因为都会出现过大的输入电流。

表 23-5 电动机运行在电压偏高或偏低时（额定频率）运行特性的改变

运行特性	实际电压高于额定电压的 10%	实际电压低于额定电压的 10%
启动 - 牵出 - 最大	增加 10%~12%	降低 10%~12%
电流	增加 21%~25%	降低 19%~23%
转矩	空转	
电流		
电动机转速为 1800/1200/900r/min	增加 12%~39%	降低 10%~21%



(续)

运行特性	实际电压高于额定电压的 10%	实际电压低于额定电压的 10%
电动机转速为 3600r/min	增加 28%~60%	降低 21%~34%
额定负载		
电流 (仅适用 1800r/min 与 3600r/min 的电动机)		
143T-182T	-4%~+11% 之间变化	-11%~+4% 之间变化
184T-256T	降低 1%~10%	增加 1%~10%
284T-445T	降低 0~7%	增加 0~7%
电流 (仅适用 1200r/min 与 900r/min 的电动机): 这两类电动机不遵循上面提及的规律。大多数电动机在有 10% 的过电压时, 其输入电流可能增加 15%。输入电压减少 10% 时, 输入电流的减少程度类似		
功率因数 <sup>①</sup>	减小 5%~8%	增加 2%
效率 <sup>①</sup>	变化较小	减少 2%
转速	增加 1%	降低 1.5%
转差率	降低 1.0	增加 1.5

①注意, 在 3/4 与 1/2 负载条件下, 这些改变基本相同。

电压不对称

当电路中两个相电压不同时, 就会出现电压不对称。极端情况下, 会出现单相运行的现象。当三相电压不同时, 电压不对称会以更微妙的形式出现。

**单相运行** 停转的单相电动机不会起动, 而浪涌电流却很高, 这会使绕组迅速升温。若三相电动机在运行时发生单相运行, 电动机会继续提供转矩, 但是另外两相的输入电流会增加, 从而导致过热。

**电压不对称** 根据定义可知,

电压不对称率 = 100 ×  $\frac{\text{与平均电压的最大偏差}}{\text{平均电压}}$  %

当三相电压不同时, 其中一相或两相的电流会增大, 导致过热。

以下情况会引起电压不对称:

- 三相系统中负载不对称
- 变压器抽头设置不对称
- 电源连接不良
- 变压器的三角形联结系统断开
- 电容器组功能异常

由单相运行或电压不对称引起的绕组故障现象都很相似。图 23-24 所示为星形联结电动机的两相过热, 而三角形联结电动机则只有一相过热。

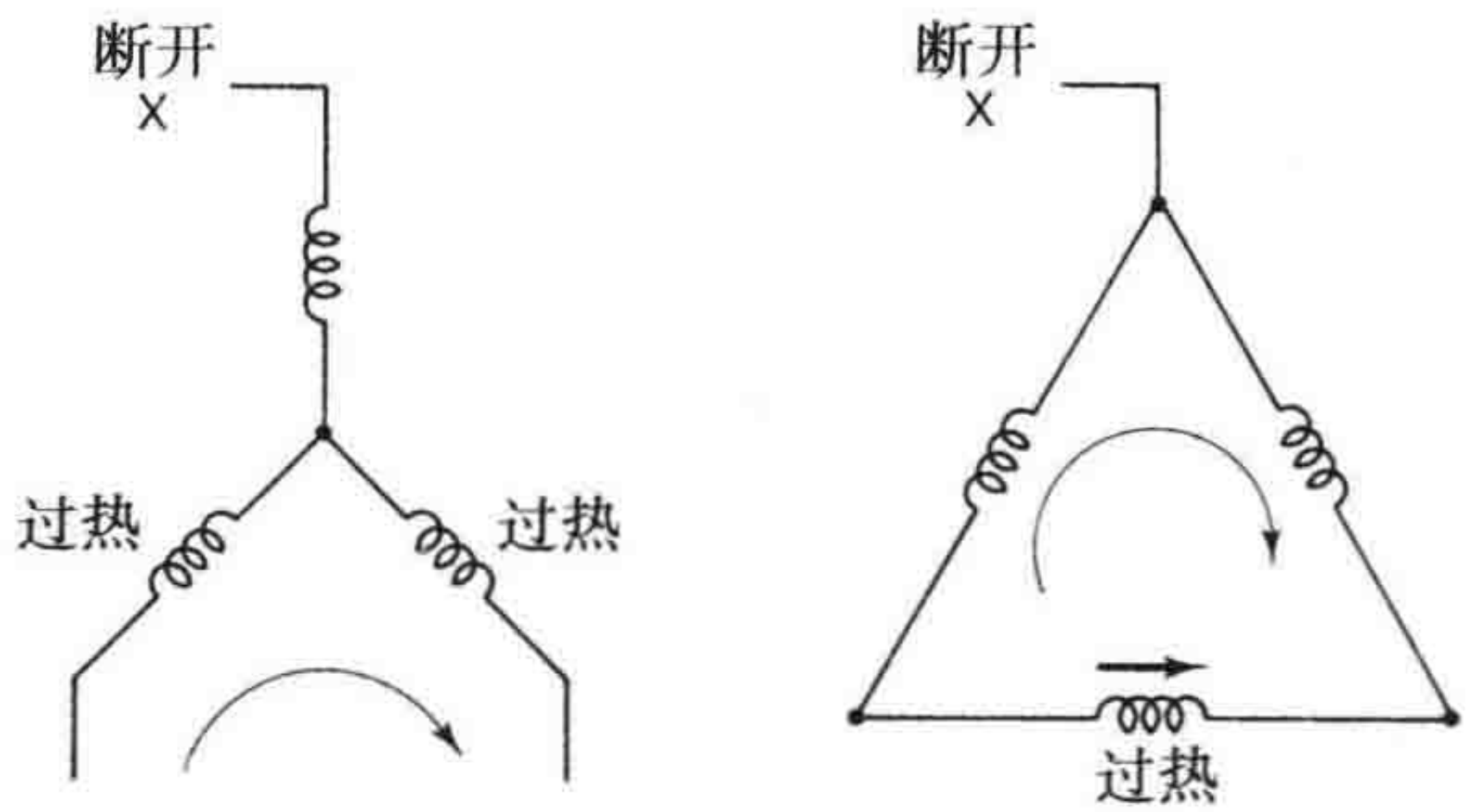


图 23-24 电压不对称或单相运行时绕组星形联结或三角形联结的热效应

23.17 电动机保护

每一种异常的操作条件如过载、电压偏差以及电压不对称都会使绕组温度升高, 因为输入电流比铭牌上的额定电流高。电动机控制与保护装置必须保证输入电流不能超过铭牌上的电流, 以延长电动机的使用寿命。

美国国家电气规程制定了一系列的标准, 可用于电动机与相关电路的控制与保护。例



如，图 23-25 所示为笼型感应电动机保护装置的安装电路图。如果需各种设备的完整信息，请查询美国国家电气规程。

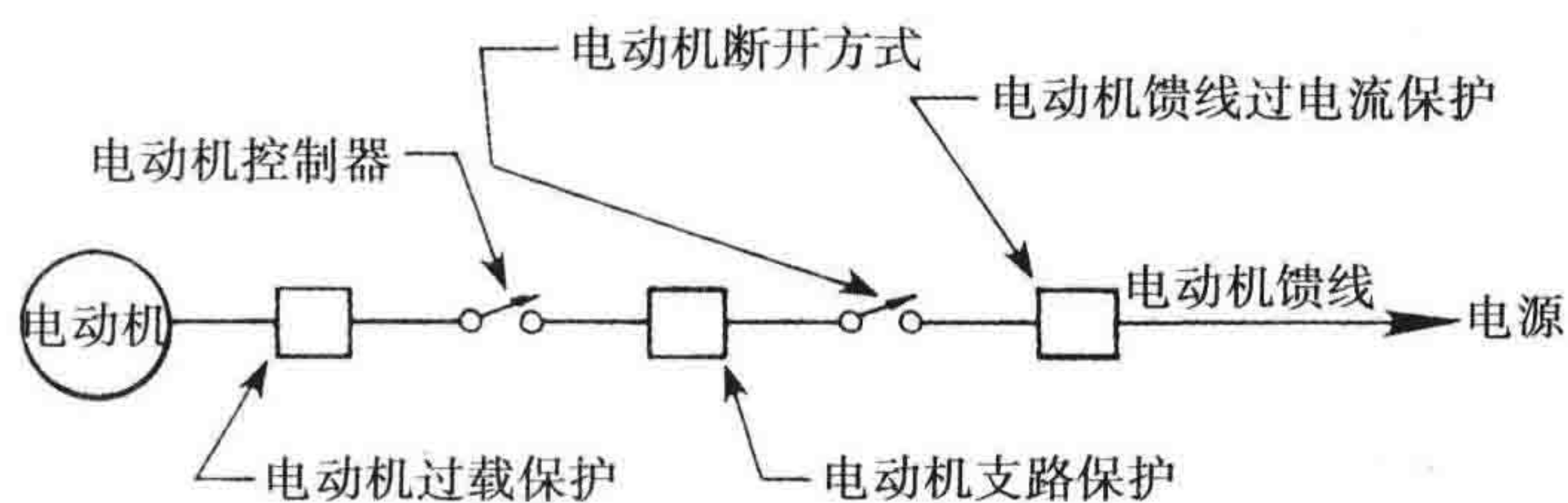


图 23-25 保护装置图

对于电动机控制器与相关电路，不同的控制器生产商生产的型号差别很大。图 23-26 所示为一种电动机控制器的功能原理示意图，它可实现过载保护。良好的工程实践经验强调使用 3 个过载继电器，电动机每相上各使用一个，以避免电动机出现电压不对称的情况。控制器与过载保护继电器的容量要与控制器制造商的规格以及美国国家电气规程一致。

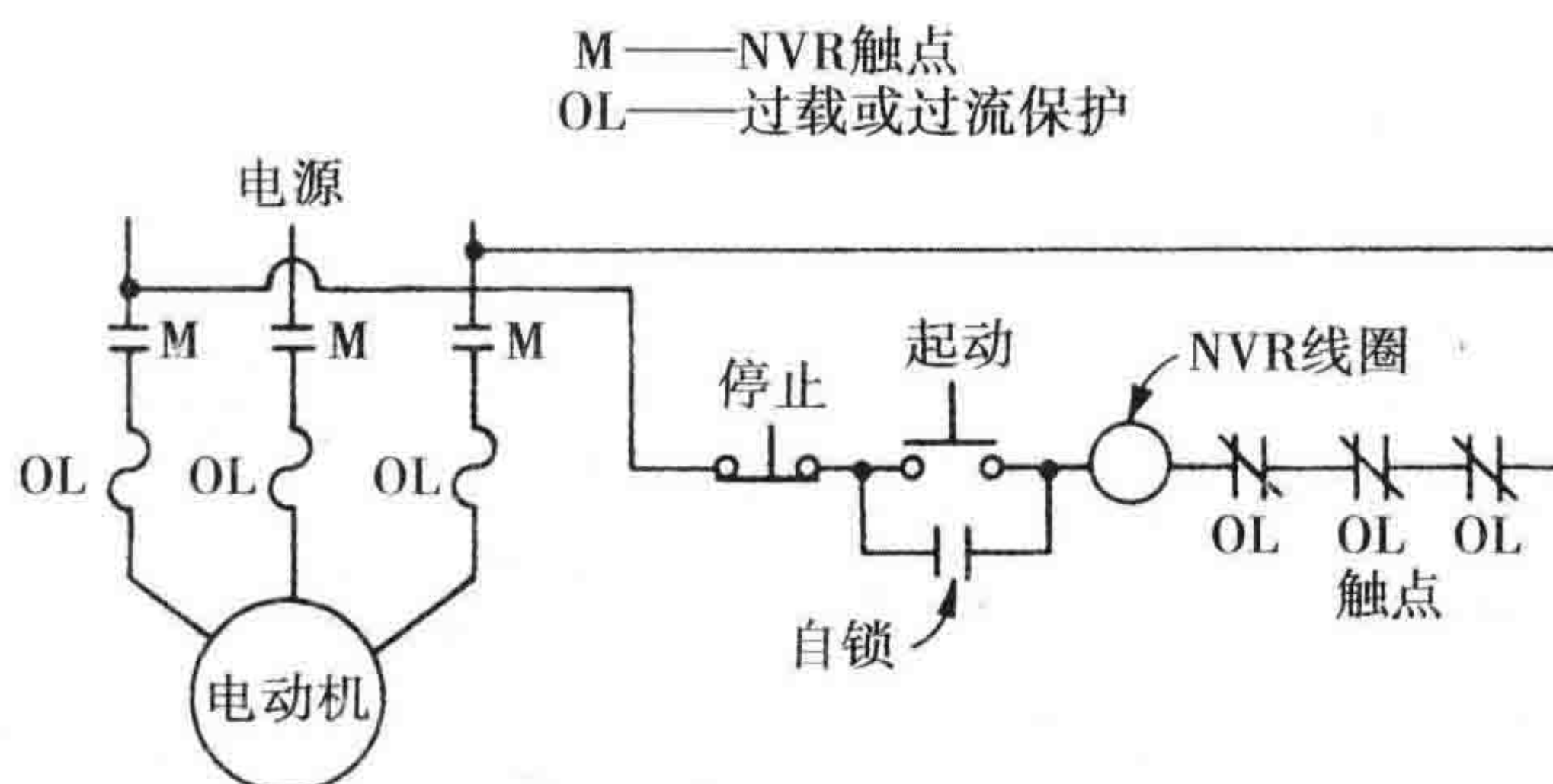


图 23-26 由接触器与过载继电器组成的电动机控制器

为了预防长时间堵转引起电动机故障，过载保护应当在堵转电流产生后的 15s 以内断开电路。

## 23.18 直流电动机故障

直流电动机的一个问题就是其高昂的时间维护成本与材料成本。需要注意其换向器与电刷的状态。图 23-27 表示磨损或损坏的换向器产生的相关问题。

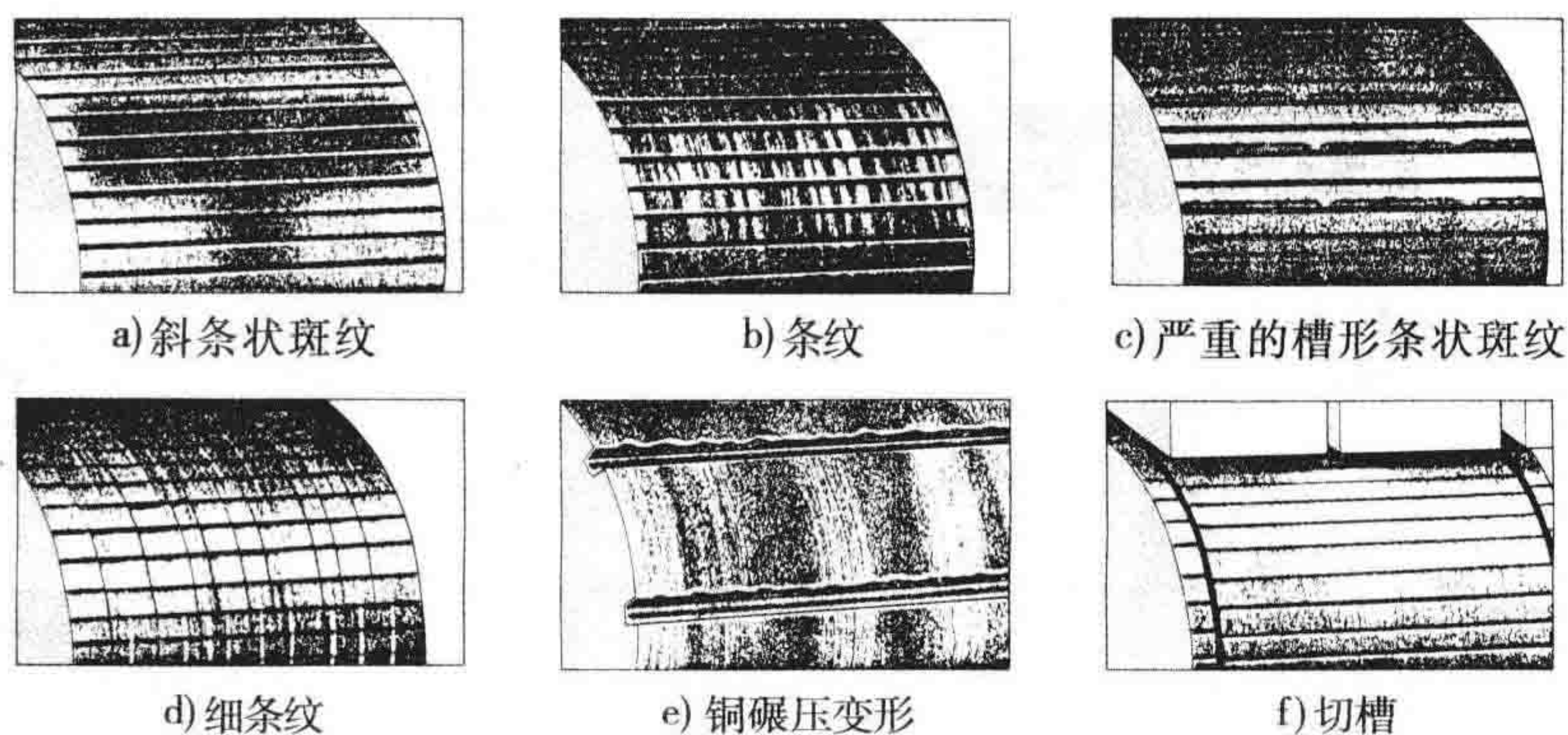


图 23-27 磨损或损坏的换向器 (Reliance 产品)



图 23-27a 所示为换向器表面有凹陷或烧蚀斜条状斑纹，其数量等于电动机磁极数量的一半或全部。

图 23-27b 所示为换向器表面的条纹，表示开始出现金属被电刷刮掉的情况。

图 23-27c 所示为严重的槽形条状斑纹，表示换向器末端被蚀刻，这与每个槽中放置的导体数量有关。

图 23-27d 所示为换向器上的细条纹，表明金属过度磨损导致出现新表面以及电刷的过度磨损。

图 23-27e 中，铜碾压变形是由于碾压变形导致换向器铜条末端的材料过多而造成的。即使这种情况很少见，但若不加以改进，也可能会出现电弧。

图 23-27f 所示的切槽由电刷或环境中粗糙的材料引起。图 23-28 所示为符合要求的换向器表面。可通过检查图 23-27 中出现的情况来判断换向器的表面是否满足要求。图 23-29 所示为改变这种情况的方法。

图 23-28a 所示的整个换向器表面的浅棕色薄膜是一种正常状态。

图 23-28b 所示的带随机薄膜图案的斑驳表面是符合要求的。

图 23-28c 所示的在铜条上出现的固定图案的条状斑纹表示正常的磨损。

图 23-28d 所示的整个换向器表面带一致图案的厚膜是可以接受的。

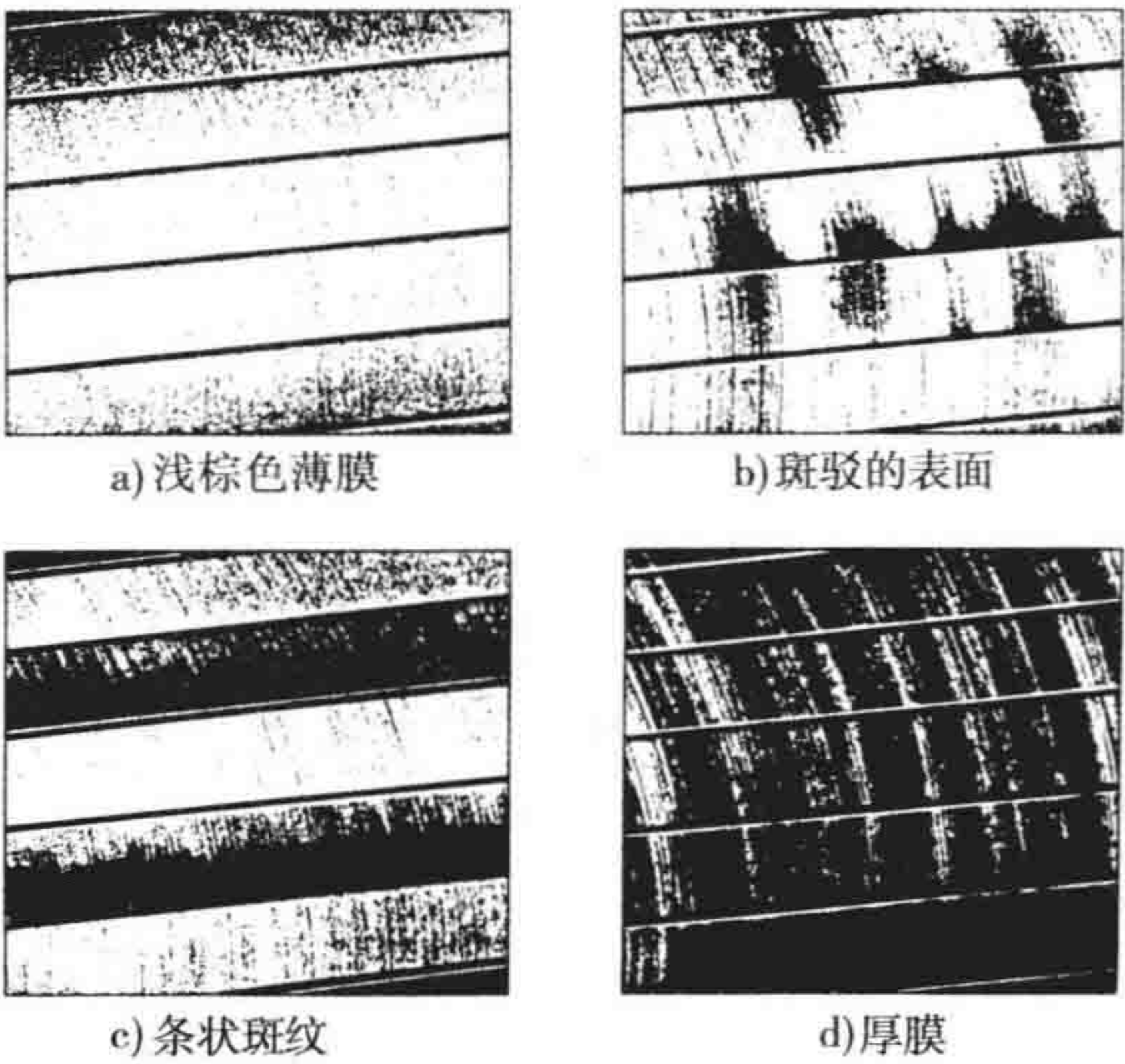


图 23-28 符合要求的换向器表面 (Reliance 产品)

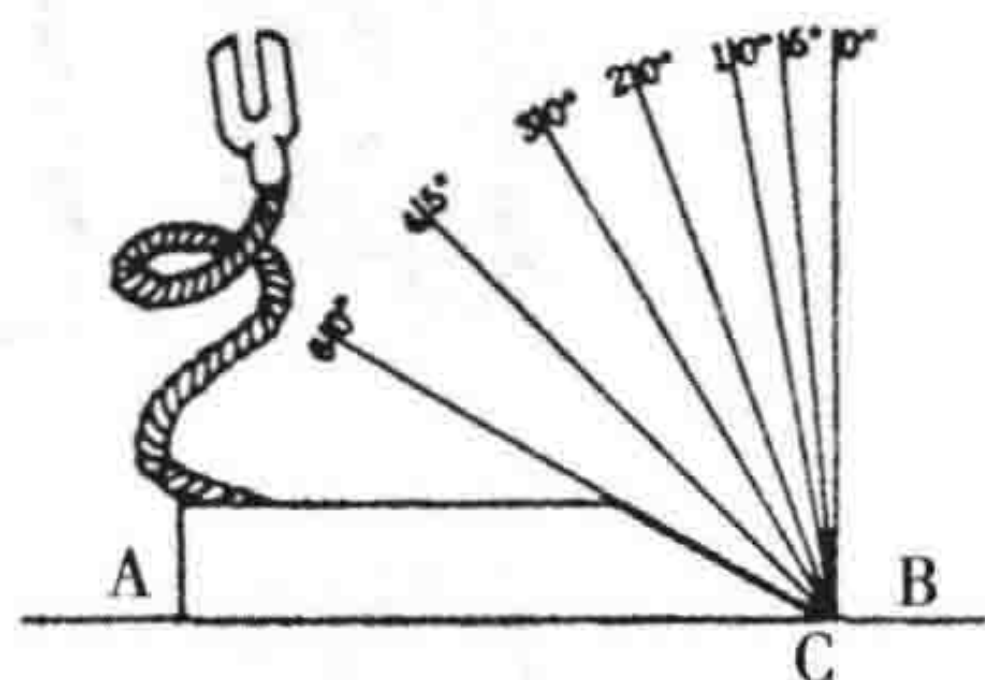
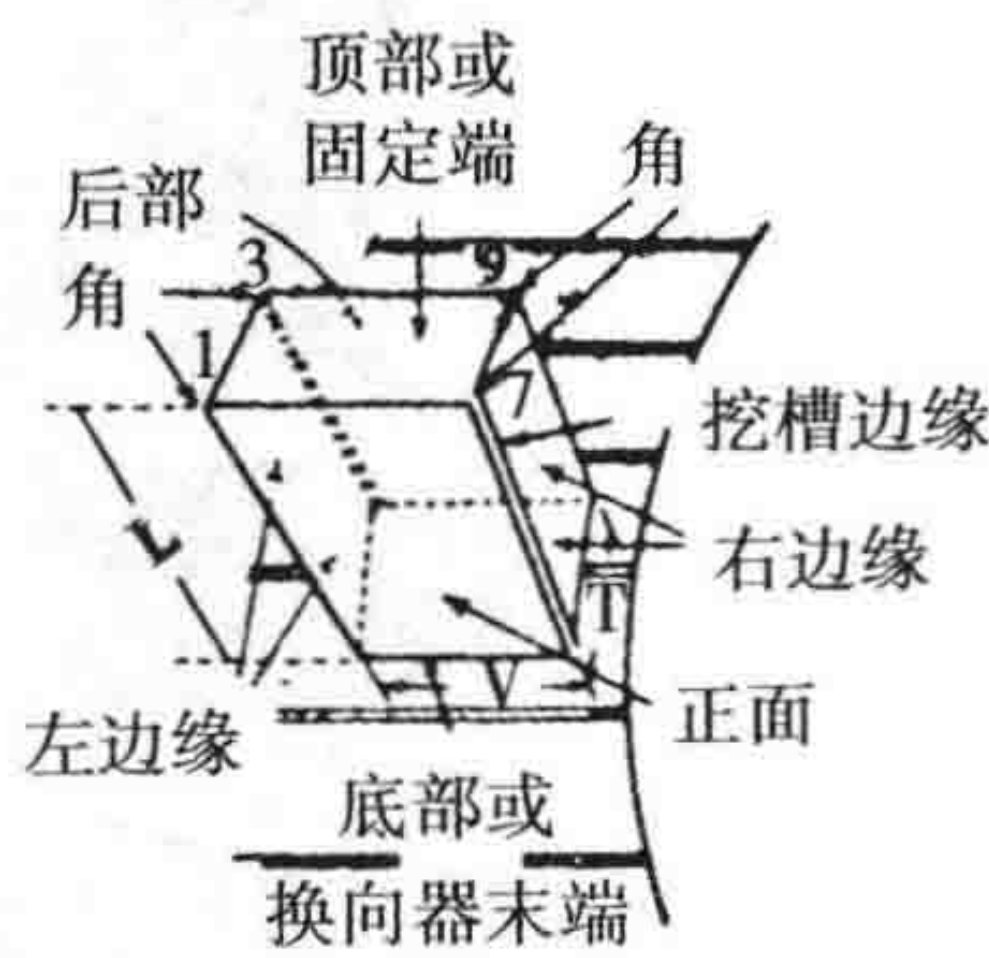
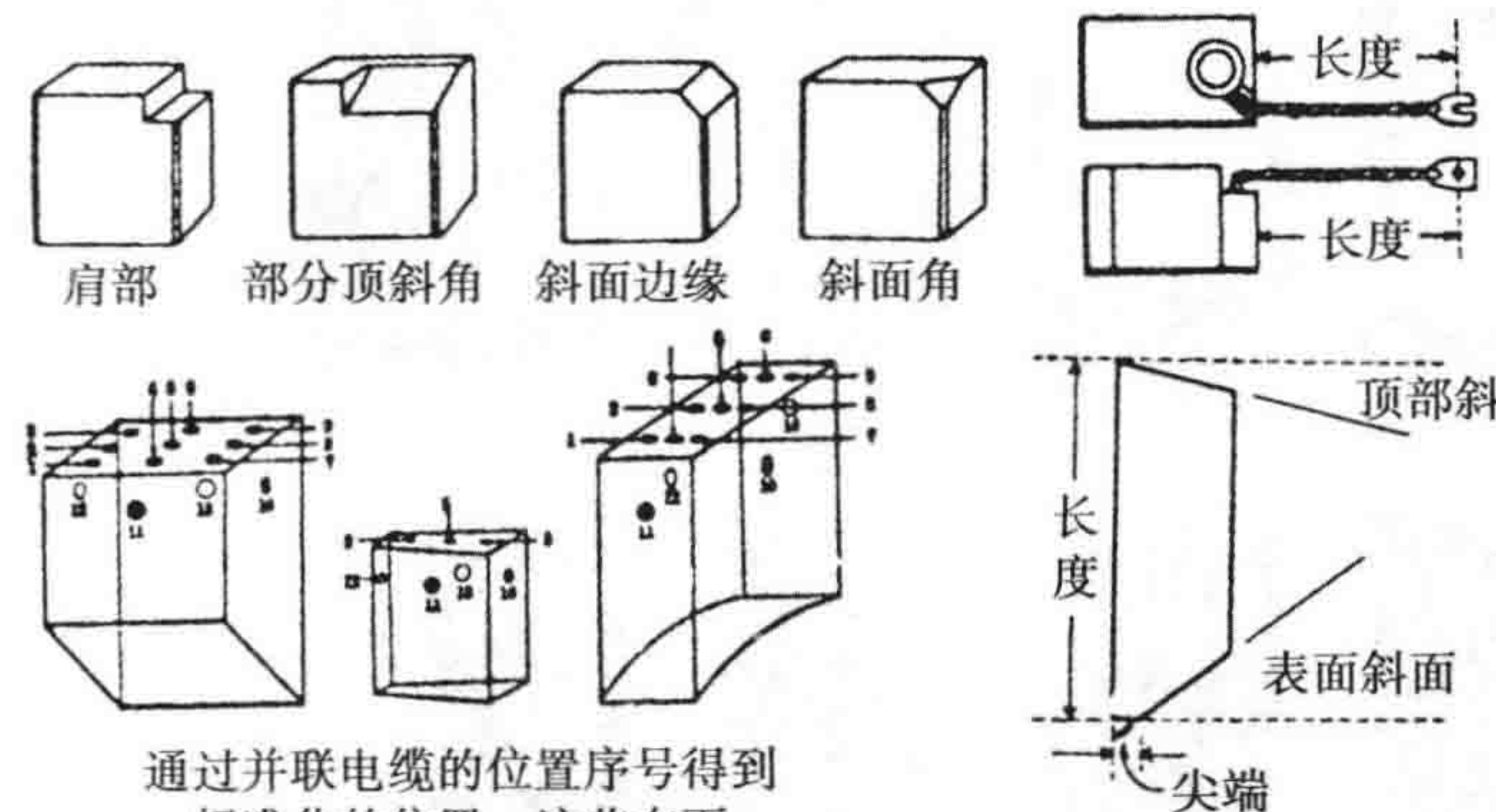
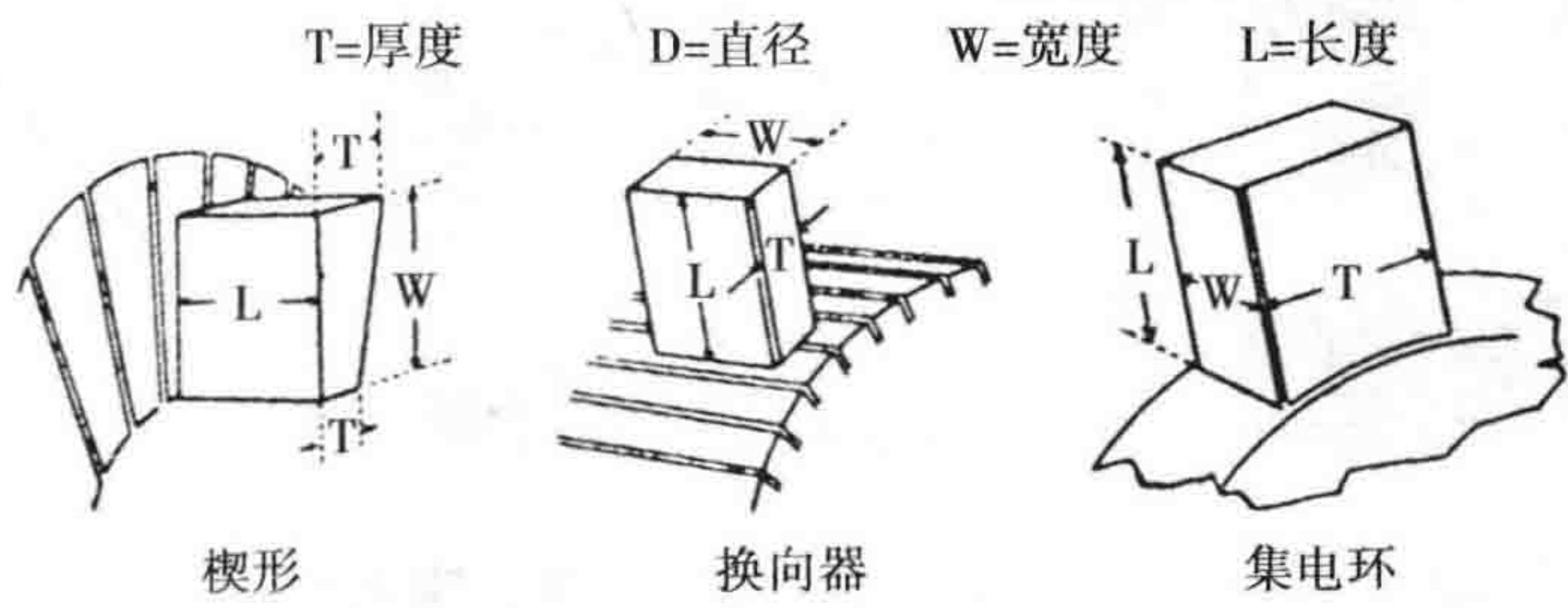
图 23-30 所示为直流电动机与发电机所使用的 30 种电刷的图解。

	振动	电刷压力 (轻)	不对称并励磁场	电枢连接	较轻的电气负载	电气过载	电气调整	污染物		使用电刷的类型	
								气体	粗糙的杂质	粗糙的电刷	多孔的电刷
斜条状斑纹											
槽形条状斑纹											
铜碾压变形											
条纹											
细条纹											
切槽											

图 23-29 查找换向器磨损的原因 (Reliance 产品)

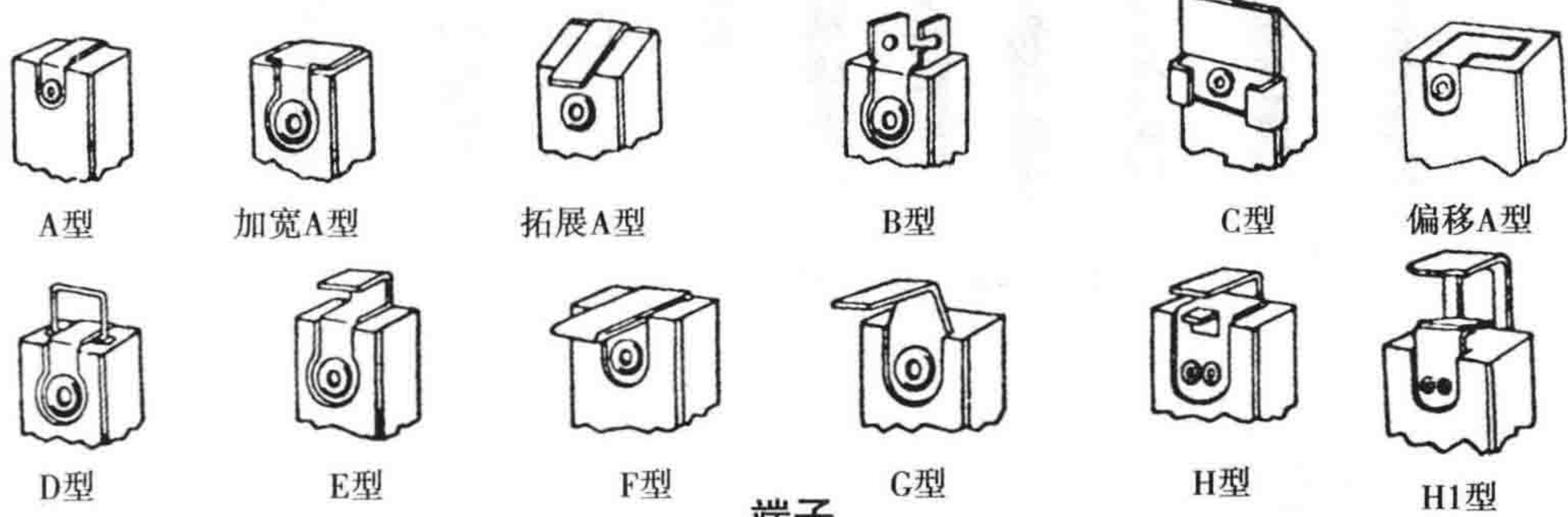
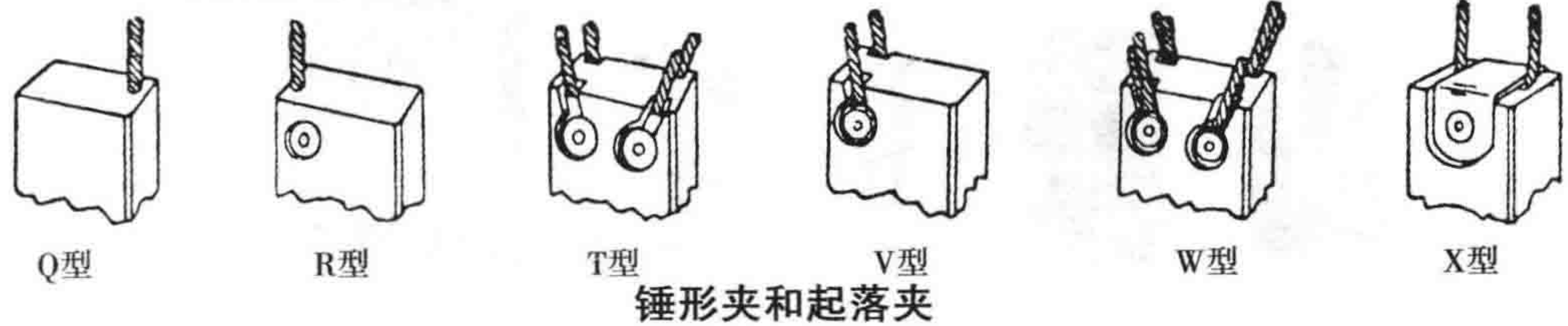


电刷定义



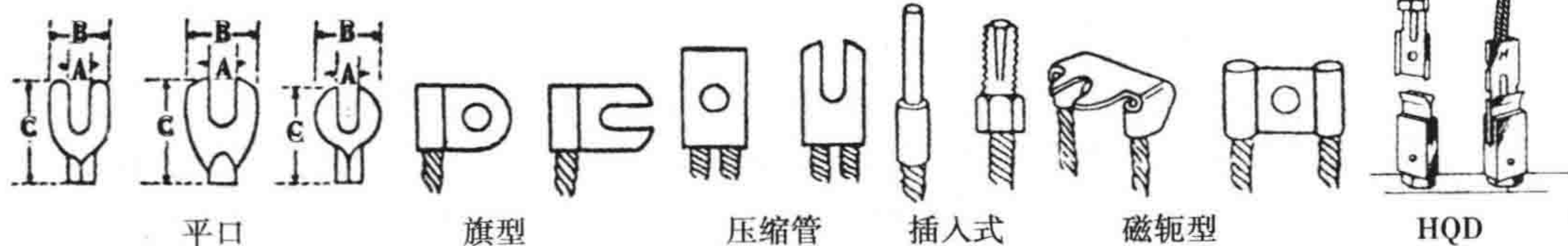
为了找到电刷的倾斜角度，将电刷放置在线A-B上，尖端置于C点。线末端的数字表示倾斜的角度，这与电刷表面的倾斜角度一致

电刷并联



端子

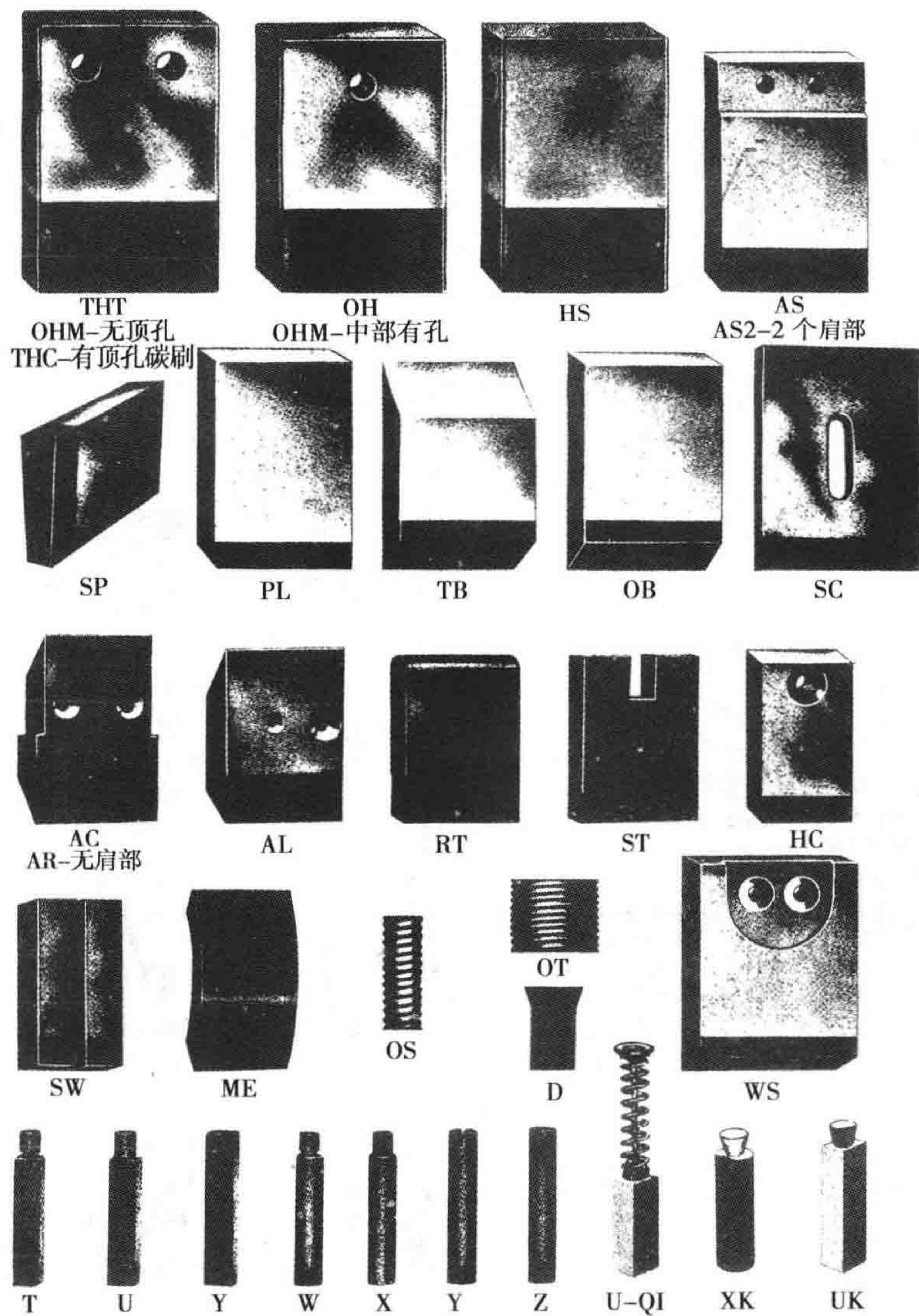
特殊尺寸的aH开口



a) 电刷术语

图 23-30 电刷图解





b) 特殊的电刷（Helwig Carbon产品）

图 23-30 （续）

23.19 固态装置检修

固态装置通常由印制电路板或电路模块制成，若该装置或模块被确定为故障原因，则将其拆除并用另一块相同的电路板或电路模块来替换，所以固态装置的检修十分方便。很多装置可通过将线夹上的插件拔下来移除，其他有插头的装置则需要断开插头。

大多数装置都可自我诊断。LED 可指示电路或装置作为一个整体或单独的装置可能出现的问题。实际上，许多装置都可以诊断出故障点，甚至可以告诉你维修该装置需要更换哪个部件。

如果装置发生故障，其中很多二极管可能是短路或者开路的。可以用万用表（VOM）来检查二极管，即通过将探头轮流连接到二极管两端来进行检测。若二极管是完好的，一个方向将是高阻值，而另一个方向是低阻值；若二极管被短路，那么两个方向都将呈现低阻值；



若二极管开路，则两个方向的电阻值都将是无穷大。若发现二极管开路或短路，一定要用同型号的二极管来替换。

## 23.20 思考题

1. 电气系统接地断开的表现是什么？
2. 接地故障断路器（GFCI）的工作原理是什么？
3. 滚珠轴承润滑油的主要作用是什么？
4. 轴承故障是由什么引起的？
5. 为什么润滑油的黏度对电动机来说很重要？
6. 电动机应该多久加一次润滑油？
7. 为何换向器型电动机需要更多的维护？
8. 哪三种不符常规的电源会影响电动机的出力？
9. 定义尖峰电压，尖峰电压是由什么引起的？
10. 什么是电气噪声？它是由什么引起的？
11. 什么是电压瞬变？它是由什么引起的？
12. 短路线圈测试仪有何作用？
13. 如何检测接地电容？
14. 钳式仪表的主要优点是什么？
15. 高温对电动机有何影响？
16. 环境温度有何含义？
17. 引起电动机绕组故障的原因是什么？
18. 整个换向器表面都覆盖浅棕色的薄膜正常吗？
19. 如何用万用表检测二极管？



## 第 24 章

# 电力相关职业

### 24.1 学习目标

通过学习本章，你将能够：

1. 辨识电力系统中的突出职业领域。
2. 列出成为一个电气工程师所需的教育水平。
3. 明确维修电工的工作职责。
4. 给创业者下定义。
5. 列出 4 类所有创业者会面临的类似问题。
6. 明确成为一个有效领导者所需的素质。
7. 明确工业电工的工作职责。
8. 明确电动机控制电工的工作职责。

### 工业电工

工业电工毕业时要求有 28 个学分，并有 4~5 年的学徒实践经历。在这期间学徒受工业雇主雇用，学习安装、维护和修理机械，并掌握交流 / 直流电的基本原理、电动机、液压 / 气动、可编程的逻辑控制和变压器等方面的相关知识。另外，编码、安全问题、电路原理图的绘制和打印阅读等学习主题也都是需要掌握的。

### 24.2 雇用电工的行业

电力领域提供了各种各样的职业发展机会。电工可受雇于许多不同的行业，其行业范围十分广泛，从钢铁厂到制药厂，从煤矿到商业船队。

许多非常依赖电气设备的行业要聘请专职电工来维护设备。例如，制铝行业需要电工来安装和修理电气设备、相关仪器和控制设备。在钢铁行业，电工负责铺设线路和安装设备，连接电力驱动设备。电气维修工（电动机检查员）负责使线路、电动机、开关等电气设备处于良好的工作状态。造纸工业雇用电工来修理线路、电动机、控制面板和开关。

铁路公司雇用电气工人安装和维护机车、汽车和铁路建筑内的线路和电气设备。一些工人也铺设和维护电源线。

在海中航行的船只需要有自己的维修工人。在商船行业，船上的电工修理和维护发电机和电动机等这样的电气设备。电工也测试电路是否短路，移除或者更换熔丝和有缺陷的灯。

在医院里，病人的生命往往依赖用电力驱动的仪器设备。这类仪器设备的正确保养和快速维修都是至关重要的。许多医院聘请专职的电工和电子技术人员来维护这种类型仪器设备。

工厂也依靠电工来保持设备正常工作，防止发生代价高昂的重大事故。为这些企业工作



的电工同时也安装和维修各类电气设备。

在煤炭开采业也需要电工。他们检查并安装矿山内和周围的电力线路。此外，他们帮助、维修和维护用于采矿的机械。如今的汽车有许多电动装置和系统，如机载计算机。在汽车行业，电气工程师设计汽车的电气系统，如机载计算机、点火系统、照明系统和相关配件。

在建筑行业，电工为供热、照明、动力、空调以及制冷系统装配和安装供电线路。电气检查员随后检查这些系统，以确保它们正常工作，并符合电气规范和标准。检查人员赴工地检查新的和现有的线路、照明、音响和安保系统以及发电设备。他们还检查所有供暖和空调系统、厨房电器、电动机和其他组件的电气线路的安装。

## 24.3 电力相关职业

尽管每个行业都有自己的特殊要求，电气相关职业仍可分为以下几大类：

- 电气工程师
- 工业电工
- 建筑电工
- 维修电工
- 电动机控制电工

还有专注于以下几个方面的电工：

- 工业电工（电动机控制）
- 住宅电工（住宅和公寓）
- 维修电工（所有需要的地方）
- 内部电工（通常是一个机构内的维修电工）
- 弱电电工（解决闭路电视、通信系统和电缆问题等低电压设施的电工）

### 24.3.1 电气工程师

电气工程师主要负责设计、开发和监督电气设备和电子设备的制造。他们所做的项目包括电动机、发电机、通信设备和电子设备等，如心脏起搏器、污染测量设备、雷达、计算机、激光、制导系统以及各种类型的电气设备。他们还设计和操作发电和配电设施。

通常情况下，电气工程师专攻一个领域，如电子、计算机、电气设备或电力。在这些领域内，还有专业性更强的领域，如导弹制导和跟踪系统。

在美国大约有 450 000 人被雇用成为电气工程师。大多数为电力电子设备、飞行器和零部件、商用机器、专业和科学设备制造而工作。许多人在通信行业的电力照明与电源公司工作。电气工程师可为政府机构、建筑公司、工程咨询机构而工作，也可作为独立的咨询工程师工作。其他人在高校任教。

电气工程师负责各种设备的设计和开发。从事最基础的工程工作需要获得工程学士学位。在典型的 4 年本科课程中，前两年主要学习基础科学（数学、物理、工程概论）和人文、社会科学以及英语。后两年主要致力于学习专业的工程课程。

许多工作，特别是教学和专业领域的工作，现在需要培养研究生。许多学院和大学提供 5 年制硕士学位课程。

在美国，所有的 50 个州和哥伦比亚特区，对于那些可能会影响生命、健康、财产，或者向公众提供服务的工作，要求从业人员具有工程师许可证。为了获得许可证，工程师通常必须拥有由认可的工程学院颁发的学位，有 4 年以上相关的工作经验，且必须通过相关考试。他们称为专业工程师（PE）。



工程专业的毕业生通常在有经验的工程师的指导下开始工作。有了经验和证明过的能力后,他们开始承担更大的责任。电气工程师是团队的一部分,具有创造力,善于分析,并有能力进行细节工作。他们应该能够用口头和书面的形式很好地表达自己的想法。

电气工程师的就业前景是很好的。随着计算机、电力电子消费品、军用电子设备、通信和发电设备需求的增长,在这些领域内对电气工程师的需求也将增长。

### 24.3.2 建筑电工

如前所述,建筑电工为供热、照明、动力、空调以及制冷系统装配和安装供电设备。他们还负责安装电力机械、电子设备、控制、信号和通信系统。

建筑电工必须能够看懂设计图纸和说明书。为了安全起见,他们必须遵守美国国家电气规程的相关规定,并且他们的工作必须符合当地的电气规程。

在美国大约有 450 000 名建筑电工。大多数为电气承包商工作或自己经营做承包商。一些建筑电工为拥有电力工程的政府机构和商业机构工作。培训一个专职的建筑电工通常包括 4 年的学徒计划。学徒计划都是由地方工会管理委员会提供赞助并进行监督的。计划包括课堂培训和在职培训。通常必须是高中或职业学校的毕业生才有资格获得学徒身份。课程涉及电力、电子、机械制图、科技和工厂,以便能够提供一个良好的职业背景。

体力不是至关重要的,但手工技巧、灵活性以及健康的身体是很重要的。良好的色彩辨别是必不可少的,因为电线经常要通过颜色识别。

安装住宅电线和设备的电工通常称为建筑电工,因为他们通常为新建或改建建筑而工作。这种类型的工作也为低等学历的人们提供了电气工作。在做一些年的职业工作后,电工的助手也许不能成为一个协会承包商的学徒,但可以成为小镇上的熟练电工。

在大多数城市,就业许可证是必需的。电工必须通过一项测试,这项测试要求电工具有良好的技能和国家以及地方建筑规范的相关知识。

就业前景好。建筑电工的人数预计增长速度高于所有职业的平均速度。受雇人员的数量取决于给定年份建筑活动的数量。当没有建筑电工的工作时,他们可以转移到相关的行业。例如,可以成为维修电工。

### 24.3.3 维修电工

维修电工负责维持照明系统、变压器、发电机以及其他电气设备处于良好的工作状态。他们也可以安装新设备。

维修电工的职责与他们的工作地点有很大的关系。在大型工厂工作的电工可能负责修理发电机和电焊机等专业设备。那些在办公楼和小工厂工作的电工则通常负责修理各种电气设备。无论在什么企业工作,电工都要花很多时间做预防性维护工作。他们在故障发生前,检查设备以定位和纠正缺陷,防止发生故障。估计有 350 000 人是维修电工。其中一半以上是由制造行业雇佣的,其余的工作在公用事业、矿山、铁路或政府部门。

大多数维修电工在工作岗位或通过学徒计划来学习他们的行业。学徒计划和进入计划的要求与建筑电工相同。手工技巧、灵活性和健康的身体是很重要的。良好的色彩辨别能力也是很关键的。维修电工应在设备出现故障之前检查设备以找到缺陷。

因为工业上越来越多地开始使用电力电子设备,对维修电工的需求也将增加。由于维修电工的需求对经济起伏不是非常敏感,因此职位空缺数量的增长预计将保持稳定。

### 24.3.4 弱电电工

弱电电工负责安装、维护、更换和维修电气系统和容量在 100 VA 以下的设备。



其工作内容包括：

- 基本电话电缆的安装和拆除
- 电话系统中电话局和控制设备的安装
- 火灾报警系统的安装和维修
- 入侵 / 防盗报警系统的安装和维修
- 音频 / 视频系统的安装和维修
- 闭路电视系统
- 中央控制系统
- 护士呼叫系统和紧急呼叫系统
- 音响和有线广播系统的安装和维修
- 光纤
- 可编程控制仪表
- 局域网和结构化布线系统

这类电气工作的地点有的是在室内，也有在室外工作的，有的工作需要直立、弯腰，有的需要在潮湿环境和寒冷等恶劣天气下到达现场，有的需要在狭窄空间工作或在高空工作。

## 24.4 通用信息

电工可能会在高等教育机构的公共设施工程管理部和其他政府机构找到工作。职位表中的一些职位可能要求你：

- 愿意在一个充满灰尘、污垢、异味、烟雾和巨大噪声的环境里工作。
- 在长时间保持身体弯曲后还能够正常行走、站立和工作。
- 能够举起和运输重物；可以在梯子、支架以及其他脱离地面的位置，如屋顶上进行作业。
- 能够在高空躺着作业，或在户外的恶劣天气中作业。

内部线路电工的工作是分配和连接客户的电气设备到外部电源。内部线路电工安装和维护各种商业和工业设施中应用的电气系统。

电气设备包括照明、插座、电动机、加热设备和控制整个工厂能源设备运行的系统。

内部线路电工要安装布线导管系统，该系统涵盖电动机控制中心或控制面板到所有用电设备之间的线路。这些导管内可以铺设电力电缆或控制电缆。许多导管是暴露在外的，必须使用平整和娴熟的技艺，按照严格的标准进行安装。

内部线路电工的工作变化可能较大。第一天内部线路电工可能在一个高层建筑里安装消防报警系统和安防系统，第二天他可能在建筑外面的一条沟槽里安装导管。

内部线路电工还在如下单位安装电气系统：

- 工业设施，如化工厂
- 发电厂
- 芯片制造工厂
- 配电中心

每种类型的安装都有特定的电气需求和支持这些需求的特定系统。所以有许多与内部线路电工相关的任务。学徒培训在为一个人以专业的方式执行这些任务提供所有必要知识，同时也有助于提高人的本能，使之成为电气施工和维修业最好的工人。

在大多数州人们从事电力工作都需要许可证。

1. 在大多数州，你必须在州批准的学徒计划里注册，以获得一个学徒许可证。
2. 学徒期满后，你必须通过州考试才能获得一个普通熟练电工许可证。



电工每小时挣 31.90 美元左右, 在典型的一年当中, 根据建设市场的情况可以得到一些休假时间。

## 信息源

在美国, 想要获得关于电气工程师职业生涯的其他信息, 请联系:

电气和电子工程师学会 <http://www.ieee.org>。

想要获得有关建筑电工的其他职业信息, 请联系当地的电气承包商、当地的国际电气工人兄弟会、学徒委员会, 或最近的州立就业服务办公室、州立学徒代理机构。一些州立就业服务办公室筛选应聘者并提供能力测试。

有关学徒计划或其他维修电工相关工作机会的信息可以从当地雇用维修电工的企业和当地工会学徒管理委员会获得。此外, 当地的州立就业服务办公室可以提供一些关于培训机会的信息。一些州立就业服务办公室筛选应聘者, 提供能力测试。

关于电工工作的一般信息, 请联系:

- 国际电气工人兄弟会
- 国家电气承包商协会
- 国家电气工业联合学徒和培训委员会

## 24.5 开始你自己的生意

你所在的城镇, 有许多生意, 规模有大有小。一些小规模生意可能是由一个人拥有和管理的。另外一些生意可能是中等规模的, 雇用了几个人。你所在的城镇也可能有大企业, 例如, 可能有一个大型的制造工厂, 或者大型公司的总部可能就设在你所在的城镇。这类企业通常都雇佣很多人。

大多数大型生意开始时都是小生意, 这也是一些大公司的实情。做生意需要技能和辛勤的工作。很难想象开创一门生意所需要的能力。任何人开始一个小生意时都面临着多变的任务。首先, 这个人必须有足够的钱(这笔钱可能要借), 也必须有一个可以出售获利的产品或服务, 同时也必须有一种将产品或服务提供给公众的途径。生意越小, 所有者/经营者不得不亲自做的工作就越多。对于一些小生意, 所有者/经营者必须担负所有责任。对于较大的生意, 这样的职责会被划分。例如, 一个人(或一个部门)负责制造产品, 另一个人可能负责广告, 第三个人可能负责交付或运送该产品。通常, 生意的规模越大, 这些职位所需的人就会越多。

开创一门生意的人通常称为创业者。创业者是组织和管理生意的人, 这个人还承担了生意的风险, 这意味着创业者负责支付营业费用。生意成功的全部责任取决于创业者。

一个人, 个体经营或者为自己做生意, 是一个创业者。所有创业者面临 4 个类似的问题。这些问题是:

- 确定一个需求
- 寻找一个产品来满足这个需求
- 为生意提供资金
- 销售该产品

现在, 让我们看看每一项的关注点:

- 所有成功的生意都有一个共同点。最初是因为他们注意到人们需要或想要一个产品或服务。
- 一旦一个创业者已经注意到了一个需求, 他就可以找到一个产品来满足这个需求。该产品可能是一件商品(如电气设备), 也可能是一种服务(如电气产品维修)。



- 开始一个生意不易，在生意中取得成功更难。任何人开始一个生意时都是一个创业者，但不是所有的创业者都能成功。创业者要想成功，其经营的生意必须是成功的。

## 24.6 领导能力的发展

美国社会一直看重足智多谋和首创精神。这些品质是美国边疆向西扩展以及早期共和价值观初期塑造的精华。美国文化的一些价值观被历史所塑造，尤其是早期历史，需要强大的决策和坚定的进取心。那些现在只是历史的事件，需要参与其中的人进行快速的承诺和有坚定的决心。

虽然历史影响的偶然性可能会改变，但是它的基本势力是保持不变的。这些势力是美国社会所面临的问题和挑战的领域，而其祖先也同样感到困惑和困难。因为美国是一个民主社会，因此每一个人都要求发展领导才能。

好的领导具有有效的沟通、坚定的意志、单一的目的性以及道德诚信等品质。虽然看起来这些品质更容易出现在一些人的身上，但是，在一定程度上，我们所有人都能发展有效领导所需的技能。会员在学生俱乐部，如 VICA 或者科技教育俱乐部，能够帮助培养领导能力。由于俱乐部的性质（将具有单一共同兴趣的个体聚集在一起）决定了它的多样性有可能比一般的社会更少。但它仍然可以为你提供一个机会来实践有效的沟通，在一个团队中，比如在一个委员会中学习工作所需要的技巧。领导能力中最有价值的品质经常在最安静的状况下练习。每一个人都将有机会发挥领导能力来做一个决定、解决一个危机，或者采取一个行动。在民主社会里，领导能力是使大众积极参与的关键。

### 24.6.1 电工的就业情况<sup>⊖</sup>

2006 年，共有约 705 000 名电工就业。大约 68% 领工资和薪水的工人就职于建筑行业，其余作为维修电工工作在其他行业。除此之外，几乎每 11 个电工中就有 1 人是个体户。到 2016 年，劳动局预测大约 757 000 名电工将能就业，比 2006 年增长 7%。

因为电气服务的需求越来越广泛，在美国任何一个地方都可以找到电工工作。

### 24.6.2 收入<sup>⊖</sup>

2006 年 5 月，中等电工每小时工资为 20.97 美元。中间的 50% 电工每小时挣 16.07~27.71 美元。最低的 10% 收入不到 12.76 美元，而最高的 10% 收入是 34.95 美元。2006 年 5 月，雇用电工人数最多的行业中，平均每小时中等收入如下：

汽车零部件制造业 .....	31.90 美元
地方政府 .....	23.80 美元
非住宅建设 .....	20.58 美元
建筑设备承包商 .....	20.47 美元
就业服务 .....	17.15 美元

学徒最开始的工资通常是训练有素的电工工资的 40%~50% 之间，这取决于经验。在整个培训过程中，当学徒变得越来越熟练后，他们会得到定期加薪。

一些电工是国际电气工人兄弟会的成员。在各种协会中，代表维修电工的是国际电气工人兄弟会，国际电子、电气、工薪族、机械和家具工人协会，国际机械师和航空工人协会，国际工会，美国汽车、飞机和农具工人联合会，美国钢铁工人联合会。

### 24.6.3 相关职业

为了安装和维护电气系统，电工需要有综合操作技能以及电工材料和电气概念的相关知识。

⊖⊖ 参考美国劳工部劳工统计局：职业展望手册，[www.bls.gov](http://www.bls.gov)。



有类似技能要求的其他职业工人包括供暖、空调、制冷机械等方面的安装工；线路安装和维修工；电力和电子设备安装和维修工；家庭电子娱乐设备的安装和维修工；电梯安装和维修工。

## 24.7 发展前景

控制工程师或技师未来要接触到许多类型且使用复杂电路和编程的自动化设备。这些自动化程序将要求设备、程序和人员持续更新。

现代可编程自动化控制器（PAC）不断出现了，它们使用相同的开放式以太网通信标准和面向对象的编程，同时带来了商业化的利益。这些利益包括较低的价格、设备的兼容性和“商用现成品”（COTS）的实用性。

编程和维护技术使得一个 PAC 平台很容易转移到另一个平台上，这样降低了整合和培训成本，提高了劳动力的灵活性和效率。

目前，只有传统的分布式控制系统（DCS）为特殊需要的过程应用提供了一个发展和维护的环境，即管道及仪表流程图（P&ID）与控制架构之间的无缝转化。

一个在人机界面（HMI）和控制系统专业化之间的通用标签数据库，已经导致了高成本控制应用。然而，这并不能对 DCS 或更复杂的离散应用的费用做出完全合理的解释，这些复杂的应用正在测试 PAC 能力的上限。

这意味着一个 DCS 的额外费用是对手头任务的矫枉过正。反过来，这需要一个控制技师或控制工程师精通包括电动机、程序和组件的所有方面的知识。

### 其他信息来源<sup>①</sup>

想要详细了解学徒或这个行业的其他工作机会，可联系州立就业服务办公室、州立学徒代理机构、当地的电气承包商或雇用维修电工的企业，或当地工会电工学徒管理委员会。这方面的信息也可以联系独立的电气承包商及公司的当地机构、全国电气承包商协会、住宅建筑商协会、建筑商与承包商协会以及国际电气工人兄弟会。

想要了解工会学徒和培训计划，请联系：

- 国家联合学徒培训委员会（NJATC），301 Prince George's Blvd., Upper Marlboro, MD 20774。网址：<http://www.njatc.org>。
- 国家电气承包商协会（NECA），3 Metro Center, Suite 1100, Bethesda, MD 20814。网址：<http://www.necanet.org>。
- 国际电气工人兄弟会（IBEW），1125 15th St. NW., Washington, DC 20005。网址：<http://www.ibew.org>。

想要了解独立学徒计划，请联系：

- 建筑商与承包商协会，劳动力发展部，4250 North Fairfax Dr., 9th Floor, Arlington, VA 22203。网址：<http://www.trytools.org>。
- 独立电气承包商协会，4401 Ford Ave., Suite 1100, Alexandria, VA 22302。网址：<http://www.ieci.org>。
- 全美住宅建筑商协会，住宅建筑商协会，1201 15th St. NW., Washington, DC 20005。网址：<http://www.hbi.org>。
- 国家建设教育和研究中心，P.O. Box 141104, Gainesville, FL 32614-1104。网址：<http://www.nceer.org>。

<sup>①</sup> 参考美国劳工部劳工统计局：职业展望手册，[www.bls.gov](http://www.bls.gov)。



# 附录

## 附录 A

### 直流电动机故障表

现象和可能的原因	可能的补救措施
电动机无法启动	
(a) 控制器中电路开路 (b) 端子电压低 (c) 轴承冻结 (d) 过载 (e) 过度摩擦	(a) 检查控制器，寻找开路的起动电阻器、开关或熔断器 (b) 检查铭牌上电压的额定值 (c) 修复轴和更换轴承 (d) 减少负载或使用更大功率的电动机 (e) 检查轴承润滑，确认安装电动机后润滑油已被更换。断开电动机与驱动设备的连接，手动转动电动机以检查电动机内部是否存在问题。拆卸并重新组装电动机，然后检查每一部分是否处在正确的安装位置并调准。拉直或更换弯曲的轴或拱起的轴 [ 电机功率在 5hp ( 3.75 kW ) 以下 ]
电动机短时运转后停转	
(a) 电动机无动力 (b) 电动机在弱磁场或无磁场的情况下启动  (c) 电动机转矩不足以驱动负载	(a) 检查电动机端子电压、熔断器、线圈和过载继电器 (b) 若为调速电动机，检查变阻器设置得是否正确。如果正确，检查变阻器状态 检查磁场线圈是否有开路现象 检查接线连接是否有松动或损坏 (c) 检查铭牌上额定电压值。使用功率更大的电动机或使用具有合适特征的电动机与负载匹配
带载情况下电动机运转太慢	
(a) 线电压过低 (b) 电刷位于中性面之前 (c) 过载	(a) 检查并消除在供电线路、连接点，或控制器中的多余电阻 (b) 将电刷调整到中性面位置 (c) 检查电动机的实际负载是否超过电动机所允许的负载
带载情况下运转太快	
(a) 弱磁场 (b) 线电压过高 (c) 电刷位于中性面之后	(a) 检查并励磁场电路中的电阻 (b) 修正高压状态 (c) 将电刷调整到中性面位置
电刷产生火花	
(a) 换向器状况恶劣 (b) 换向器偏心或粗糙  (c) 过度振动  (d) 电刷支架弹簧破碎或弹性较弱 (e) 电刷过短	(a) 清洗并重置电刷 (b) 研磨并正确放置换向器 切除云母 (c) 平衡电枢 检查电刷，确保它们在电刷支架上能够自由运转 (d) 更换弹簧并将压力调整到生产商推荐值 (e) 更换电刷



附录 B

绕线式电动机故障表

现象和可能的原因	可能的补救措施
外部电阻切除后电动机低速运转	
(a) 连接到控制单元的线太细	(a) 使用较大型号的电缆与控制单元连接
(b) 控制单元距离电动机太远	(b) 控制单元靠近电动机
(c) 转子回路开路（包括连接到控制单元的电路）	(c) 通过振铃电路测试和修复
(d) 电刷与集电环之间存在污垢	(d) 清洁集电环和绝缘组件
(e) 电刷卡在支架上	(e) 使用正确型号的电刷
(f) 电刷张力不符	(f) 检查电刷张力并进行调整
(g) 集电环粗糙	(g) 锉、用砂纸磨和抛光
(h) 集电环偏心	(h) 使用车床调整集电环的位置，或用便携式工具，在无须拆卸电动机的情况下调整集电环的位置
(i) 过度振动	(i) 平衡电动机
(j) 电刷中电流密度过高（过载）	(j) 减小负载。如电刷已被更换，确保其与原始电刷是同一型号



小功率电动机故障表

现象和可能的原因	可能的补救措施
起动失败（分相式感应电动机）	
(a) 无电压	(a) 使用测试灯或电压表检查电动机端子电压 检查熔断器或仪表是否正常 检查熔断器或起动器中过载保护是否开路。如果电动机配备了缓动式熔断器，检查熔丝塞是否开路和是否拧紧
(b) 低电压	(b) 测量开关闭合时电动机的端电压。电压变化范围应不超过电动机铭牌上电压的10%。变压器或电路过载可能导致低电压。如果是前者，与电力公司协商。建筑场内过载线路的查找可以通过比较仪表显示电压和开关闭合时电动机端电压来实现
(c) 切断开关操作错误	(c) 通过移除前端支架上的检验板，能够观察到切断开关的操作。该装置由一个安装在前支架上的切断开关和一个被称为调速器重锤的旋转部件组成，该部件是由调速盘支持的，并使它沿轴向由调速器重锤带动来回移动。在停止时，调速盘保持切断开关处于闭合状态，如果没有使其处于闭合状态，则电动机不能起动。这可能需要调整轴向偏差垫圈。接触点有污垢也可以造成电动机无法起动，因此要检查接触部分是否干净。当电动机加速到预定速度后，调速盘离开切断开关，允许它开路。当负载脱离电动机时，起动开关闭合。如果电动机没有起动，手动起动电动机，并且观察随着速度的增加以及起动开关断开电动机减速时调速器的运行情况。如果调速器不能运行，调速器重锤可能被堵塞了。如果调速器运行得太早或太晚，那么就是弹簧太松或太紧了，拆除电动机到售后点进行调整。调速器重锤被设置在同步转速的75%左右时运行。将转子放在带有转速计的平衡实验机上，用以确定调速器重锤是否以正确的速度运行
(d) 过载装置开路	(d) 如果电动机配备了一个内置的微动开关或类似的过载装置，移除电动机活动盖板，开关安装在尾架上，观察开关触点是否闭合。不要试图用一根木棍调整这个开关或测试其操作，这样做可能会毁坏它。如果开关无法闭合，送电动机到售后处进行维修
(c) 接地磁场	(e) 如果电动机过热，接触时会产生电击，或者如果无功功率过大，则使用测试灯穿过引线和机壳的磁场检测接地磁场，如果接地，送电动机到售后处进行维修
(f) 开路磁场	(f) 该类型的电动机有一个主绕组和一个起动绕组。分别使用测试灯测试每一个绕组的电流。当转子静止时，不要让绕组连接时间太久。无论是哪个绕组开路，都要送电动机到维修点维修
(g) 短路磁场	(g) 如果电动机消耗很多功率，同时转矩不够大、过热，或有嗡嗡声，则存在短路磁场，送电动机到维修点维修
(h) 轴端间隙不正确	(h) 某些类型的电动机在每一个轴末端有钢质密封软木垫圈，以缓冲轴向推力。轴向推力太大、轴上的锤击或过热都可能破坏软木垫圈，并且干扰切断开关的运行。如有必要，安装新的轴向缓冲垫组件。轴端间隙不应超过0.01in（0.254mm）；如果超过了，安装额外的钢质密封垫圈。轴端间隙被调整的合适位置是当电动机静止时切断开关为闭合状态，电动机运转时切断开关为断开状态
(i) 过载	(i) 通过检查铭牌上标记的实际电流输入值，可大致确定过载情况。过载会阻止电动机加速到调速器所允许的速度，烧毁起动绕组
(j) 轴承过紧	(j) 用手转动电枢进行试验。如果添加润滑油也不起作用，那么必须更换轴承



(续)

现象和可能的原因	可能的补救措施
<b>电动机过热</b>	
(a) 接地磁场	(a) 使用测试灯检测磁场和电动机座之间的接地磁场。如果接地，送电动机到维修点维修
(b) 短路磁场	(b) 检查是否存在过电流，是否转矩不够大以及是否存在嗡嗡声，出现任何提到的现象都表明存在短路磁场，送电动机到维修点维修
(c) 轴承过紧	(c) 用手转动电枢进行试验。如果添加润滑油也不起作用，那么轴承必须更换
(d) 低电压	(d) 开关闭合时测量电动机端电压。电压变化应不超过电动机铭牌上电压的 10%。变压器或电路过载可能会导致低电压，和电力公司协商解决。建筑场内过载线路的查找可以通过比较仪表显示电压和开关闭合时电动机端电压来实现
(e) 切断开关操作错误	(e) 参考 <b>起动失败</b> 中的 (c)
(f) 过载	(f) 参考 <b>起动失败</b> 中的 (i)
<b>电动机转速无法上升至所需转速</b>	
可能的原因和可能的补救措施同电动机过热	
<b>轴承过度磨损</b>	
(a) 皮带过紧	(a) 根据生产商的推荐调整皮带张力
(b) 皮带轮不平行	(b) 正确调整皮带轮
(c) 脏的、错用的或不足的润滑油	(c) 使用生产商推荐使用的润滑油类型
(d) 轴承较脏	(d) 彻底清洁，更换磨损的轴承
<b>噪声过大</b>	
(a) 轴承磨损	(a) 参考 <b>轴承过度磨损</b> 中的 (a)、(b)、(c)、(d)
(b) 轴向间隙过大	(b) 如有必要，安装额外的轴向间隙垫圈
(c) 部件松动	(c) 检查松动的紧固螺栓，松动的滑轮等
(d) 错位	(d) 正确地调整皮带轮
(e) 皮带磨损	(e) 更换皮带
(f) 轴弯曲	(f) 矫直轴，或更换电枢或电动机
(g) 转子不平衡	(g) 平衡转子
(h) 轴上有毛刺	(h) 去除毛刺
<b>电动机产生冲击</b>	
(a) 接地磁场	(a) 参考 <b>起动失败</b> 中的 (e)
(b) 接地母线破损	(b) 更换接地母线
(c) 接地不良	(c) 检查和修复接地连接
<b>定子和转子之间存在摩擦</b>	
(a) 电动机中存在污垢	(a) 彻底清洁电动机
(b) 转子或定子上有毛刺	(b) 清除毛刺
(c) 轴承磨损	(c) 更换轴承和检查轴的刻痕情况
(d) 轴弯曲	(d) 维修和更换轴或转子
<b>干扰波</b>	
(a) 接地不良	(a) 检查和修理任何有缺陷的接地
(b) 接触不良或连接不良	(b) 检查和修理开关和熔断器上任何松动的触点，以及接线端子上的不良连接
<b>起动失败（推斥起动感应电刷升降电动机）</b>	
(a) 熔断器熔断	(a) 检查熔断器容量，它不应该比生产商建议的容量大，而且决不能小于电动机的满载额定电流，其电压还要等于或大于电源所提供的电压值
(b) 无电压或低电压	(b) 测量开关闭合时电动机的端电压。这个电压不应超过电动机铭牌上电压的 10%



(续)

现象和可能的原因	可能的补救措施
(c) 磁场或电枢开路	(c) 起动时过多的火花会造成转子在某些位置时电动机不能起动或起动开关闭合时有嗡嗡声。检查是否有断线、连接不良现象或烧坏的换向器是否松动或有断开的连接点。检查是否有外来金属物造成换向器组件之间的短路
(d) 电压或频率不正确	(d) 需要在本地供电公司设立新的符合要求的电源线路，直流电动机不能运行于交流电路，反之亦然
(e) 电刷磨损或黏连	(e) 当电刷与换向器接触不正确时，电动机将有一个弱的起动转矩。这可能是由于破损的电刷、电刷粘连在支架上、电刷弹簧弹性弱或换向器有污垢造成的。换向器要用细砂纸打磨（不要使用金刚砂）。换向器上绝对不能涂抹油类或润滑类的东西
(f) 电刷设置不当	(f) 除非已安装了一个新的电枢，否则电刷支架或摇杆应与位置标记相对应，并锁定位置。如果安装一个新的电枢，则可能会稍微偏离原始标记的位置
(g) 线路连接不当	(g) 是根据电动机附带的接线图接线的。电动机可能会被误连接到一个相对高的电压上
(h) 过载	(h) 如果电动机起动时没带负载，而且所有上述条件都是满足的，那么起动失败最有可能的原因是过载
(i) 短路磁场	(i) 分别获取定子绕组中两个独立绕组的电流读数，若读数不等，说明短路。短路线圈的发热比正常线圈多。嗡嗡声的增加也可能是由短路引起的
(j) 转子短路	(j) 从换向器上取出电刷，并给定子提供全电压。如果存在一个或多个点的转子“悬挂”（转动时不易旋转），则转子会短路。迫使转子转动到最难保持的位置，该位置会造成线圈短路，并发热。不要在该位置停留时间太长否则线圈会烧毁
电动机运行时无举刷	
(a) 换向器有污垢	(a) 用细砂纸打磨干净（不要用金刚砂）
(b) 调速器或电刷黏连，或电刷过度磨损不能很好地接触	(b) 手动转动电动机，观察电刷是否在槽内自由移动以及调速器是否运行正常。更换磨损的电刷
(c) 供电电路的频率错误	(c) 电动机空载运行。电刷断开后，速度应稍稍超过铭牌上标出的满载速度。当电动机空转运行速度的变化超过电动机铭牌上的速度 10% 时，则表明供电电路的频率有问题。此时需要更换电动机
(d) 低电压	(d) 开关闭合，观察电压变化是否在 10% 铭牌电压范围内
(e) 线路连接错误或连接不良	(e) 观察触点是否良好，接线是否按照发动机连接图正确连接
(f) 电刷位置不正确	(f) 检查摇杆位置与索引标记是否对应
(g) 调速器调整错误	(g) 调速器运行和电刷举起的转速约为铭牌转速的 75% 左右。低于 65% 或高于 85% 都说明弹簧弹力不正确
(h) 过载	(h) 过载时电动机也许能够起动，但是不能达到并保持满载速度，但是超过了电刷举起的速度。电动机轴承过紧可能导致过载，这有时可以从电刷举起和返回换向器看出来
(i) 短路磁场	(i) 参考起动失败中的 (i)
过度轴承磨损	
(a) 皮带过紧，或线耦合不平衡	(a) 调整机械状态
(b) 错的，脏的，或不充足的润滑油	(b) 大多数小型电动机的润滑系统都提供给轴承适量的过滤油，这仅在用户保持毛纱浸透高品质机器油时是必要的
(c) 轴承有污垢	(c) 当轴承被污垢堵塞时，电动机可能需要额外的防尘保护。应用时应该使用特制的电动机
电动机运行发热	
(a) 轴承故障	(a) 参考过度轴承磨损中的 (a)、(b)、(c)
(b) 定子线圈短路	(b) 分别对定子绕组两个部分的功率表进行读数。有时短路线圈比其他线圈更热。异常的噪声（嗡嗡声）也可能表明定子短路



(续)

现象和可能的原因	可能的补救措施
(c) 定子与转子之间存在摩擦	(c) 在转子和定子之间可能存在异物，或轴承可能磨损严重
(d) 过载	(d) 确保电动机和机械之间皮带轮的安装正确。以更高的速度驱动负载需要更大的功率。读取电流表读数，如果电流超过铭牌上的满载电流，那么答案是显而易见的
(e) 低电压	(e) 开关闭合时测量电动机端电压。这个电压应不超过电动机铭牌电压值的 10%
(f) 高电压	(f) 参考上面的 (e)
(g) 连接到电动机的连线错误	(g) 检查电动机接线图
电动机烧毁	
(a) 轴承冻结	(a) 参考过度轴承磨损中的 (a)、(b)、(c)
(b) 长时间过载	(b) 更换烧毁的电动机前，定位并消除过载的原因。一些工作会使电动机带有重载，在异常的条件下运行，这时可能会被烧毁，并且很难找到原因。电动机间歇工作通常是主要原因。应特别检查负载周期，因为这一特性的变化很容易造成电动机过载
电动机噪声大	
(a) 转子不平衡	(a) 当运输情况很差以至于损坏运输箱的时候，最好立刻检测电动机，可能是不平衡情况造成的，甚至可能（虽然很少发生）是轴弯曲造成的。在任何情况下，转子应动态平衡
(b) 轴承磨损	(b) 参考过度轴承磨损中的 (a)、(b)、(c)
(c) 换向器粗糙或电刷位置不当	(c) 只有在起动阶段出现噪音，应该予以纠正，避免由此产生麻烦
(d) 轴向间隙过大	(d) 正确的轴向间隙：0.33hp（248.7W）及以下为 0.127~0.762mm；0.5hp（373W）到 1hp（0.746kW）为 0.254~1.905mm。使用工厂供应的垫圈。一定要告诉工厂所有有关的数据。轴向间隙过大和过小都有问题
(e) 电动机与驱动机械没有对齐	(e) 调整机械状况
(f) 安装在机座上的电动机不牢固	(f) 所有的小型电动机都有钢机座，所以可以通过螺栓牢固地将它们连接到机座上，而不必担心不牢固。当然，不应该认为机座变形可以弥补安装机座的粗糙情况
(g) 电动机附件松动	(g) 检查附件如油盖、防护装置（如果有的话）、端盖等，尤其是那些因为各种检查而移动过的附件。附件连接后，顶部安装时应拧紧接线箱
(h) 气隙不均匀	(h) 这种结果是由于轴弯曲或转子不平衡造成的。参考 (a)
(i) 电动机噪声被放大	(i) 当怀疑这种情况时，将电动机放在坚固的地板上。如果电动机是安静的，那么安装充当了放大器，将电动机噪声放大了。通常情况下，调整安装中的细节可以解决问题，安装橡胶垫圈是最有效的解决方法
电刷磨损过度	
(a) 换向器有污垢	(a) 用细砂纸打磨干净（不要用金刚砂）
(b) 换向器接触不良	(b) 观察电刷是否与换向器接触，是否在槽内能自由移动，弹簧的弹力是否足够大且不是过度的压力
(c) 过载	(c) 如果电刷磨损过度是因为过载，通常可以通过对换向器提升电刷所需的观察时间而得。正确的时间应少于 10s
(d) 运行期间不及时举起和放下	(d) 参考电动机运行时无举刷中各项
(e) 高云母	(e) 可以检查得出该情况。使用细砂纸轻轻摩擦换向器表面，擦除云母
(f) 换向器粗糙	(f) 通过机床调整
电刷支架或摇臂磨损	
运行期间不及时举起和放下	在电动机的使用寿命期间内，这部分不会有明显的磨损。寿命期间有磨损表明操作错误。参考电动机运行时无举刷中各项
干扰波	
接地故障	检查接地不良的地方并修复。如果电动机架没有彻底接地，那么由皮带产生的静电可能会产生噪声。检查开关、熔断器或起动器的连接或触点是否松动



(续)

现象和可能的原因	可能的补救措施
起动失败 (电容式起动感应电动机)	
(a) 熔断器熔断或过载装置跳闸	<p>(a) 检查电动机轴承, 确保它们具有良好的运行条件以及适当的润滑; 确保电动机和驱动设备都能自由转动。检查电动机的端电压是否符合电动机铭牌上的额定电压。检查电动机的过载保护, 无论它们的工作原理是电磁式还是热式的 (或两者的组合), 其过载继电器都能很好地保护电动机。普通熔断器能够允许电动机起动, 并保证电动机不被烧毁。一个熔断器和热继电器的组合, 如 Buss Fusetron, 能够很好地保护电动机, 并且价格实惠。如果电动机不具备过载保护功能, 那么熔断器应更换为过载继电器或 Buss Fusetron</p> <p>安装合适的熔断器以及重置过载继电器之后, 允许设备按其工作周期运转。如果保护装置再次动作, 请检查负载, 如果电动机过度过载, 请与厂家进行协商以解决此问题</p>
(b) 无电压或低电压	(b) 开关闭合时测量电动机的端电压。看一看其电压是否在电动机铭牌电压的 10% 范围内
(c) 开路磁场	(c) 当开关闭合时发出嗡嗡的响声, 及时检查断线以及电路连接
(d) 电压或频率不正确	(d) 需要供电公司新设满足要求的电源线路。交流电动机不能在直流电路上工作, 反之亦然
(e) 切断开关有问题	(e) 该切断开关的操作可以通过移除尾架上的观察板进行观测。如果调速盘没有使开关闭合, 那么电动机就无法起动, 这可能就需要在轴肩和轴承之间增加额外的垫圈。接触点有污垢或被腐蚀, 也可以造成电动机无法起动。务必保证连接处的清洁。当电动机空载时, 闭合起动开关, 如果电动机无法起动, 则手动起动, 并听一听电动机加速时调速器的击打声, 开关断开时, 电动机的速度慢慢下降进行同样的观察。如果没有听见这个击打声, 那就表明这个调速器重锤被堵塞, 或者弹簧太硬了。在这种情况下, 持续运行可能会使起动绕组烧毁。拆下电动机, 送到维修点进行维修
(f) 开路磁场	(f) 这类电动机的定子中有一个主绕组和一个起动绕组。随着电容器的断开, 电流通过电动机。如果主绕组连接正确, 电动机将发出嗡嗡声。如果主绕组的测试效果令人满意, 则在电容器的相位引线 (黑色引线) 与其他的电容器引线之间连接测试灯。闭合起动开关, 如果起动绕组连接正确, 灯将发光, 电动机将会试图起动。如果绕组是断开的, 则送电动机到维修点维修
(g) 电容器故障	<p>(g) 如果起动电容有故障, 则电动机的起动力矩将会很变小导致电动机无法正常起动, 但可以手动起动电动机。电容器可以采用如下的方法进行开路或者短路的测试: 最好是通过电阻或测试灯, 用直流电 (如果可行的话) 进行充电。如果在瞬间短路时没有明显的放电现象, 则电路中存在开路或者短路现象。如果没有直流电, 则用交流电来代替。尝试用交流电充电几次, 以确保电容器充电成功。如果电容器有开路、短路或是性能较差, 则立刻更换电容器。所更换的电容器容量以及电压不应比更换前的电容器低。在焊接连接时, 不应使用酸性焊剂</p> <p>注意 (1): 电解电容器如果暴露在 20°F (-6.7℃) 以下, 可能会由于容量降低而导致电动机无法起动, 同时也可能导致电动机的绕组烧毁。电容器的温度应通过空载运行电动机或其他方式来提高。同时电容器不可在温度高于 165°F (74℃) 的环境下工作。</p> <p>注意 (2): 电解电容器的工作频率不能超过每分钟起动两次, 加速时间为 3s, 或者是每分钟起动 3~4 次, 加速时间不超过 2s。总的加速时间 (例如, 开关断开前的时间) 为 1h 之内不要超过 1 到 2min, 这可以通过查看铭牌上所标注的额定电流的大小来进行确定。过载可以阻碍电动机加速到可以使调速器动作的速度, 从而使起动绕组烧毁</p>
干扰波	
(a) 接地故障	(a) 检查接地, 如果电动机的机架没有完全接地, 则皮带产生的静电可能会引起噪声
(b) 接触不良	(b) 检查开关、熔体或起动器的连接或触点是否有松动。电容式电动机通常不会产生干扰波。有时震动会使电容器发生偏移从而使其接触到金属容器, 这可能会产生干扰波。打开容器拆下电容器, 更换包装纸, 使电容器无法发生偏移

资料来源: Lincoln Electric 公司。



附录 D

用于电动机运行过载保护的双元件熔断器的选择

电动机标识少于 1.15 S.F. 或 温升高于 40℃					
额 定 电 流		额 定 电 流		额 定 电 流	
电 动 机	熔 断 器 *	电 动 机	熔 断 器 *	电 动 机	熔 断 器 *
1.00~1.11	$1\frac{1}{4}$	6.40~7.19	8	72.0~79.9	90
1.12~1.27	$1\frac{4}{10}$	7.20~7.99	9	†80.0~87.9	100
1.28~1.43	$1\frac{6}{10}$	8.00~9.59	10	88.0~99.9	110
1.44~1.59	$1\frac{8}{10}$	9.60~11.9	12	100~119	125
1.60~1.79	2	12.0~13.9	15	120~139	150
1.80~1.99	$2\frac{1}{4}$	14.0~15.9	$17\frac{1}{2}$	140~159	175
2.00~2.23	$2\frac{1}{2}$	16.0~19.9	20	†160~179	200
2.24~2.55	$2\frac{8}{10}$	20.0~23.9	25	180~199	225
2.56~2.79	$3\frac{2}{10}$	†24.0~27.9	30	200~239	250
2.80~3.19	$3\frac{1}{2}$	28.0~31.9	35	240~279	300
3.20~3.59	4	32.0~35.9	40	280~319	350
3.60~3.99	$4\frac{1}{4}$	36.0~39.9	45	†320~359	400
4.00~4.47	5	40.0~47.9	50	360~399	450
4.48~4.99	$5\frac{6}{10}$	48.0~55.9	60	400~480	500
5.00~5.59	$6\frac{1}{4}$	56.0~63.9	70	480~521	600
5.60~6.39	7	64.0~71.9	80		



(续)

电动机标识少于 1.15 S.F. 或 温升高于 40℃					
额定电流		额定电流		额定电流	
电动机	熔断器*	电动机	熔断器*	电动机	熔断器*
1.00~1.08	1 $\frac{1}{8}$	6.09~6.95	7	69.6~78.2	80
1.09~1.21	1 $\frac{1}{4}$	6.96~7.82	8	78.3~86.9	90
1.22~1.39	1 $\frac{4}{10}$	7.83~8.69	9	†87.0~95.6	100
1.40~1.56	1 $\frac{6}{10}$	8.70~10.0	10	95.7~108	110
1.57~1.73	1 $\frac{8}{10}$	10.5~12.0	12	109~125	125
1.74~1.95	2	13.1~15.0	15	131~150	150
1.96~2.17	2 $\frac{1}{4}$	15.3~17.3	17 $\frac{1}{2}$	153~173	175
2.18~2.43	2 $\frac{1}{2}$	17.4~20.0	20	†174~195	200
2.44~2.78	2 $\frac{8}{10}$	21.8~25.0	25	196~217	225
2.79~3.04	3 $\frac{2}{10}$	†26.1~30.0	30	218~250	250
3.05~3.47	3 $\frac{1}{2}$	30.5~34.7	35	261~300	300
3.48~3.91	4	34.8~39.1	40	305~347	350
3.92~4.34	4 $\frac{1}{2}$	39.2~43.4	45	†348~391	400
4.35~4.86	5	43.5~50.0	50	392~434	450
4.87~5.43	5 $\frac{6}{10}$	52.2~60.0	60	435~480	500
5.44~6.08	6 $\frac{1}{4}$	60.9~69.5	70		

\* 使用 FUSETRON 熔体, FRN-R (250V) 或 FRS-R (600V); 或者 LOW-PEAK 熔丝 LPN-RK (250V) 或 LPS-RK (600V)。

† (隔离开关的额定电流必须至少是电动机额定电流的 115% (430~110A)。可能需要更大规格的开关。

非标设备: 可能需要更大规格的 FUSETRON 或 LOW-PEAK 熔断器, 将只提供短路保护。这些应用包括:

(a) 高环境温度下的 FUSETRON 熔断器或 LOW-PEAK 熔断器。

(b) 电动机频繁重启或迅速反转。

电动机直接连接到一台不能使电动机迅速提速的机械上 (大型风机; 离心分离机, 如提取器和磨煤机; 有飞轮的机械, 如大型冲床)。

(c) 标有高等级字母 (也可能没有标字母) 的电动机可以全压起动。



# 术 语 表

- AC generator (交流发电机)。
- Actuator (执行机构) 用来给机器人提供动力的电动机、汽缸和其他机械。
- Ammeter (电流表) 测量电流的表计。
- Ampere (安培) 在1s内  $6.25 \times 10^{18}$  个电子流过指定点产生的电流。
- Armature (电枢) 电动机或发电机的转动部件,也可以是继电器、蜂鸣器或扬声器的移动部件。
- ASCII (美国信息交换标准代码) 一种从键盘到处理器(MPU, CPU)传递信息的编码。
- Assemble (组装) 装配。
- Atoms (原子) 保持元素性质的最小元素粒子。
- Automatic load transfer (自动负载转换) 当公用电源中断供电时,起动并转接到应急电源的方法。
- Backlash(齿侧间隙) 齿轮相啮合时出现的松动。
- Ball screw (滚珠螺旋) 使用滚珠轴承代替螺纹的方法(滚珠螺旋可将旋转运动转变为直线运动)。
- Ballast (镇流器) 一个用于气体放电灯(荧光灯)电路中的扼流圈或电感。
- Battery (蓄电池组) 将两个或更多个电池串联或并联起来。
- Bonding jumpers (搭接线) 用来确保连接的连续性,使用搭接线跨过有问题的节点,该节点由于穿孔或其他损害而阻碍电流的流动。
- Bonding (粘合) 黏合是指接地电路的电气连接方式,有效的黏合意味着接地电路的电气连接是由电缆沟、电缆外皮、设备外壳与任意电缆管道或者导体之间的正确连接来保证的,该电缆管道或导体形成接地导体的一部分连接到电缆沟上。
- Branch circuit (分支电路) 用来给小负载,比如灯泡、小家电和厨房设备供电的电路。
- Brushes (电刷) 通过与旋转部分的接触来与电动机或发电机的电枢进行连接,通常由碳或金属制成。
- Brushless motor (无刷电动机) 一种运行时不需要电刷的直流电动机(一个电子电路控制它的励磁)。
- Canadian Standards Association (加拿大标准协会) 美国的一个与UL并行的组织。该组织致力于自愿的国家标准,对国家标准提供检测服务,并且在国际标准活动中代表加拿大。
- Capacitor (电容器) 一种用来贮存电荷的装置,包括两个极板和电解质。
- Cartesian coordinate (笛卡尔坐标) 笛卡尔坐标系可以表示机械手臂的上下、前后以及进出的运动,是最简单的一种坐标系。
- Cell (电池) 产生电流或电动势的装置。
- Chip (芯片) 一个包含许多晶体管、二极管以及电阻的集成电路,可在一小块硅上构成各种电子电路。
- CIM (计算机集成制造) 一种大批量生产所推荐的组织方法。
- Circuit (电路) 电子移动或电力传输的路径。
- Circular mil (圆密耳) 圆导线横截面积的计量单位,与千分之一英寸相同,一般计量直径。
- Coil (线圈) 绝缘线缠绕在铁心上制成的装置。有时线圈是中空的,也叫做电感。
- Collision avoidance (碰撞避免) 机器人与其要捡拾的物体避免碰撞的能力。
- Color code (色标) 碳素混合体电阻会以环状色带来标识它的电阻值。根据制定的色标规则,色带标识如下:
- 0 为黑色
  - 1 为棕色
  - 2 为红色
  - 3 为橙色
  - 4 为黄色
  - 5 为绿色



- 6 为蓝色  
7 为紫色  
8 为灰色  
9 为白色
- Commutator (换向器)** 许多段铜被云母或其他材料绝缘而制成的装置, 用来使流出发电机或流入电动机的电流反向。通常要放置多个电刷与换向器的表面接触。换向器的不同段与发电机或电动机的电枢线圈末端相连。
- Complete circuit (闭合电路)** 由电源、导体以及耗能设备组成。
- Conductors (导体)** 电子移动的材料。
- Configuration (接线方式)** 电路中导线或元件的布置。
- Construction electrician (建筑电工)** 对供暖、照明、电力、空调和制冷等系统负责组装、安装以及接线的人员。他们也会安装电力机械、电子设备、控制器以及信号通信系统。
- Contact sensor (接触传感器)** 通过实际接触检测物体存在的传感器。
- Controller (控制器)** 控制机器人的必备装置。
- Convenience outlet (便利插座)** 为了方便房屋所有者的日常使用而放置的插座。
- Coulomb (库仑)** 测量  $6.25 \times 10^{18}$  个电子的计量单位。
- CPU (中央处理器)。**
- Current flow (电子流动)** 自由电子在给定方向上的移动。
- Current (电流)** 电子沿着导体从负极到正极的移动。
- Dead zone (盲区)** 这是机器人手臂在正常操作中不会移动到的安全区域。
- Degree of freedom (自由度)** 机器人在 6 个轴线上移动的能力。
- Die casting (压铸)** 使用模具使热金属形成期望的形状。
- Dielectric (电介质)** 一种使用在电容器和其他电气设备中的绝缘材料。
- Diode (二极管)** 一种半导体或其空管器件, 它可以使电流在一个方向导通而在另一个方向困难甚至完全无法导通。二极管用在整流电路和开关电路中。
- Direct current (直流)** 只在一个方向流动的电流。
- Draftsperson (绘图员)** 与 drafter 相同
- Drafter (绘图员)** 利用机械设备的帮助绘制设计图和电气原理图的人员。
- Electrical engineer (电气工程师)** 设计、开发和监督电气和电子设备的技术人员。
- Electrician** 电工对电气设备和电气线路负责的工
- 作人员。
- Electricity** 电力电子沿着导体的流动。
- Electrodynamometer (电力计)** 一种不使用永磁铁的测量仪表, 它使用两个固定线圈产生电磁场。这种仪表也使用两个动线圈, 可用于电压和电流的测量。
- Electrolyte (电解质)** 一种能够导电的溶液, 是电池的液体部分。
- Electrolytic (电解质电容器)** 所含部件被电解质隔开的一种电容器。一个极板形成的薄膜提供电解质。这种电容器有极性 (正极和负极)。
- Electromagnet (电磁铁)** 利用电流通过线圈产生磁场, 铁心通常用来聚集磁力线。
- Electromagnetism (电磁)** 磁性是电流通过线圈或其他导体产生的。
- Electron (电子)** 原子中具有负电荷的最小粒子。
- Elements (元素)** 宇宙中最基础的物质, 共有 94 种元素, 如自然界中发现的铁、铜和氮, 每种已知的物质都是由元素组成的。
- Encapsulation (封装)** 利用焦油、蜡或环氧树脂等固体或半固体介质对元件或配件进行外部密封。
- End-effector (终端执行器)** 安装在操纵器或机器人手臂末端的装置。
- Energy (能量)** 做功的能力。
- Entrance signals (进门信号)** 通常由门铃、钟声或者其他装置组成, 用来通知屋内人员有人想见他们。
- Equipment ground (设备接地)** 暴露在外的导电材料的接地, 比如将导体和设备封装在内的电缆导管、开关箱或者计量仪表架等。这样可以防止设备电位超过大地电位。
- Explosion proof (防爆)** 描述设备性能的术语, 这种设备封装能够承受内部没有易燃材料的爆炸。
- Fabricate (制造)。**
- Farad (法拉)** 电容的计量单位。
- Fatal current (致命电流)** 100~200mA 之间的电流就是致命的。
- Feedback (反馈)** 一个装置将信号输送回它的控制器帮助记录操纵器或夹持器的位置的能力。
- Feeder circuit (馈电线路)** 简称馈线, 为用户供电或者将电能输送到分支点的供电线路。
- Filaments (灯丝)** 灯泡或真空管中的小线圈电阻丝, 受热变成红色或白热而发光。真空管中的灯丝从阴极蒸发出电子, 灯泡中的灯丝炽热发光。
- Flow line transfer (流水线传输)** 设计的机器人同时抓起两件或更多件物品, 从一条加工生产



线传输到与其并行的第二条传输线。

**Fluorescence (荧光)** 描述发光的术语。荧光灯通过汞离子碰撞轰击管内壁的荧光涂层发出荧光。

**Fluorescent lamp (荧光灯)** 一种通过紫外线轰击玻璃管内的荧光材料而发光的灯具。

**Four-way switch (四路开关)** 用于需要在三个及以上地方开关一个灯或电路的地方。它也最少需要两个三路开关来完成这一任务。

**Fuse (熔断器)** 在电路发生过电流时设计用来开断电路的装置。

**Generator (发电机)** 将机械能转换成电能的设备。

**Gripper (夹持器)** 位于机械臂的末端用于抓起物品。

**Ground fault circuit interrupter (接地故障断路器) (GFI 或 GFCI)** 一种快速动作的断路器, 对极低水平的对地漏电很敏感。用于限制电击电流同时将时间设计在低于可能造成严重伤害的持续时间值之内。

**Grounding conductor (接地导体)** 一根连接到房屋或者其他正常不带电的电气设备导电部分的导线, 该导线将它们的电流引到大地。

**Grounding (接地)** 有效接地意味着接到大地的通路是永久而且持续的, 并且其阻抗很低, 能保证电路上的所有载流设备正常工作。

**Hard automation (机械自动化)** 一种实现装配生产线的办法, 通常是用专用的设备装配生产线。

**Harmonic drive (谐波驱动)** 一种传动类型, 用柔性花键、刚性齿轮和波形信号发生器来准确定位无反馈冲击和低噪声的机械手。

**Henry (H)(亨)(利)** 计量电感的单位。

**Hertz (Hz)(赫兹)** 计量频率的单位。

**Horsepower (马力)** 计量功率的单位, 一匹马做的功和电做的功等效。一马力是一匹马 1min 内将 33 000lb 物体举起一英尺所做的等价功。  
1hp=746W。

**Hydraulics (液压技术)** 利用液体的压力驱动终端执行器或者操纵器。

**Impedance (阻抗)(Z)** 对交流电总电路的抵抗。以欧姆计量。

**Incandescent lamp (白炽灯)** 通过将灯丝加热到白热化来产生光的灯或灯泡。

**Incandescent (白炽)** 一个术语, 意思是发光白热化。白炽灯中的灯丝发光成白热化, 产生热和光。

**Induced current (感应电流)** 电磁感应产生的电流, 通常是在线圈或变压器中。

**Inductance (L)(电感)** 线圈反抗电路电流变化

的特性。以亨利计量。

**Inductive reactance (感抗)** 电感对交流电流呈现的抵抗。符号是  $X_L$ 。以欧姆计量。

**Inerting (惰化)** 将有惰性的不可燃气体与可燃物相混合, 降低氧气的浓度, 直到氧气在混合物中的比例低到不足以引起燃烧。

**Input (输入)** 一个术语, 用于描述施加到电路、设备或系统中的电源。

**Insulator (绝缘体)** 不导电材料, 在没有额外的力或高电压作用下, 缺乏足够的能够移动的自由电子。

**Interface (接口)** 机器人与编程计算机或微处理器之间的适当连接。

**Interfacing (接口连接)** 使一台设备与一台计算机或微处理器配对, 并使它们作为一个单元来运行。

**Inverter (逆变器)** 用于将直流转换成交流的设备。

**Joule (焦耳)** 公制单位, 1 库仑电子流过 1 伏的电位差所做的电功率。

**Kilo 千前缀**, 表示千 (1000)。

**Kilowatt (千瓦)** 一千瓦 (1000 W), kW。

**Kilowatthour meter (电能表)(电度表)** 电能计量表计, 计量一定时间 (比如一个月) 内用户所使用的电能。

**Kirchoff's law of voltages (基尔霍夫电压定律)** 电阻或负载上的所有电压之和等于外加电压。

**Ladder diagram (梯形图)** 就是简单的原理图, 图中包括执行程序化的活动所需要的开关和其他设备的动作序列的电路图。它由竖直平行的电源线以及形成电路的水平梯线构成, 因此而得名。

**Lane loader (生产线装卸机)** 在快线与慢线之间或在慢线与快线之间调整物料摆放的机器人。

**Language (编程语言)** 跟机器人对话的方法 (用到的一些语言有 VAL、AL、AML、Pascal, 以及 ADA)。

**LED (发光二极管)。**

**Lert** 基于 4 个基本运动能力的机器人分类系统。

**Limit switch (限位开关)** 设计成与运动体一起使用的开关, 限制运动体通过给定的点。

**Load (负荷)** 又称为负载, 是指接于电路中消耗电能的设备或装置。

**Machine vision system (机器视觉系统)** 一个使机器人能够对零件进行识别与确认的系统。

**Magnet wire (线圈线)** 铜线, 用于绕制线圈、螺线管、变压器、电动机, 通常涂有清漆或其他绝缘材料。

**Magnet (磁体)** 一个具有磁场的装置。

**Magnetism (磁力)** 导线中的电流产生的或在自



自然界某些材料中发现的力。

**Magnetohydro dynamic generator (磁流体发电机)** 利用热等离子体发电的发电机。气体(等离子体)中的电子通过磁场偏转,与气体中的粒子碰撞时,它们移动到其中一个电极上,发出电来。

**Maintenance electrician (维修电工)** 维持使照明系统、变压器、发电机和其他电气设备处于良好工作状态的人员。他或她也可以安装新设备。

**Manipulator (操纵器)** 又叫机械手,是机器人的3个基本部件之一。

**Mega (百万)** 前缀,表示百万(1 000 000)。

**Meter (米)** 用于测量。或者说是公制里面的一个计量单位。

**Mica (云母)** 绝缘材料,可以承受高电压和高温。目前已不再在电器和电容器的制造中使用了。

**Micro (微)** 前缀,表示百万分之一(0.000 001)。符号是希腊字母  $\mu$ 。

**Microammeter (微安计)** 限于测量电流以微安为单位的仪表。

**Microampere (微安)** 百万分之一安培(0.000 001)( $\mu\text{A}$ )。

**Microvolt (微伏)** 百万分之一伏特(0.000 001)( $\mu\text{V}$ )。

**Milli (毫)** 前缀,表示千分之一(0.001)。

**Milliammeter (毫安计)** 限于测量电流以毫安为单位的仪表。

**Milliampere (毫安)** 千分之一安培(0.001)( $\text{mA}$ )。

**Millivolt (毫伏)** 千分之一伏特(0.001)( $\text{mV}$ )。

**Milliwatt (毫瓦)** 千分之一瓦特(0.001)( $\text{mW}$ )。

**Minicomputer (小型计算机)** 中等尺寸的计算机,比微型计算机稍大,但比大型机要小。

**Motor (电动机)** 将电能转换成机械能的装置。

**MPU (MPU)** 微处理器。

**Multimeter (万用表)** (在大多数情况下)能测量电压、电阻和毫安的仪表。

**Multiplier (扩程器)** 电阻器和仪表的测量机构相串联,以处理测量机构中额外的电压。它的作用是扩大仪表的量程。

**MVS (机器视觉系统)** 使机器人能够看见的方法。

**National Electrical Code (NEC) (美国国家电气规程)** 由美国国家消防协会每三年发布一次的标准。它描述了正确安装各种电气设备和装置以使其安全运行的方法。

**Neutrons (中子)** 不带电荷的微粒。

**Ohmmeter (欧姆表)** 用于测量电阻的装置。

**Ohm's law (欧姆定律)** 乔治·欧姆定律指出电路中的电流等于电压除以电阻。

**Omega (欧姆)** 希腊符号  $\Omega$ ,用来表示电阻的

单位,欧姆  $\Omega$ 。

**OSHA. OSHA** 职业安全与健康法案。

**Outlet (电源插座)** 接受插头以完成电气连接的插座,通常用于提供电源。

**Palletizing (码垛堆积)** 机器人将部件或者箱子堆叠在集装架上的任务。

**Parallel circuit (并联电路)** 每个负载(电阻)都是直接跨接在电压源上的电路。

**Parallel port (并行端口)** 连接计算机和外围设备的方法,使它们能够共享数据。

**Photosensitive (光敏的)** 对光敏感。

**Piezoelectrical effect (压电效应)** 对晶体施以压力产生电能的过程。

**Plugging (反向制动)** 通过反转电源的极性来使电动机停止的方法。

**Pneumatic drive (气动驱动)** 利用气压驱动操纵器。

**Positioning (定位)** 机器人把一个物体放置在预定位置的能力。

**Potentiometer (电位器)** 具有3个触点的可变电阻器。

**Power (功率)** 做功的速率,简称为  $P$ ,计量单位是瓦特( $\text{W}$ )。

**Powersupply (电源)** 给机器人提供激励。

**Process flow (工序流程)** 部件与材料按顺序流动,以保证生产。

**Program (程序)** 指导机器人完成某项任务的指令序列。

**Programmable robot (可编程机器人)** 一种可被编程或使用示教盒、键盘或其他输入设备可进行训练的机器人。

**Programmer (程序员)** 训练机器人的人员,他们可与机器人用机器语言交流。

**Proton (质子)** 原子中最小的粒子,带正电荷。

**Pulsating direct current (脉冲直流电)** 当电源变为直流且未滤波时产生的电流,简称为  $\text{PDC}$ 。

**Rectifier (整流器)** 将交流电转换为直流电的装置,使电流只能往一个方向流动。

**Relay (继电器)** 一种可遥控开关的电器自动化装置。

**Remote control (远程控制或遥控)** 不在被控装置所处地点进行起动或控制该装置的能力。

**Residential wiring (住宅布线)** 家用电器线路,在需要的地方接有插座。

**RS-232C standard (RS-232C 标准)** 用  $-25\text{V} \sim -3$  表示逻辑1,用  $+3 \sim +25\text{V}$  表示逻辑0。

**Resistance (电阻)** 对电子运动的阻碍,单位为欧姆。

**Resistor (电阻器)** 阻碍电流流动的装置。



**Rheostat (变阻器)** 可变电阻器,通常有两个触头接入电路。通过电阻的增减来控制电压。

**Root-mean-square (rms)(有效值)** 使用标准电压表或电流表得到的一种读数类型。

**Rotor (转子)** 电动机或发电机的转动部分。

**Rural grid (农村电网)** 由辐射式配电馈线组成,其中变电站为三相电路,每一相作为单相电路,呈扇形辐射为农村供电。

**Sensor (传感器)** 用来检测温度、光线、压力、声音以及其他需要感知信息的装置。

**Serial port (串行端口)** 连接计算机与外围设备的方法,这样就可以(用两根线)在距离 50ft 甚至更远的地方分享数据。

**Series circuit (串联电路)** 电路中包含电阻器或耗能设备,它们连接成一串或一个接一个地连接起来。

**Series-parallel circuit (串并联电路)** 串联电路与并联电路的组合,电路中至少要有 3 个电阻器或装置相连,其中至少有一个串联电路,两个并联电路。

**Servo motors (伺服电动机)** 伺服电动机受信号驱动,而不是直接由电源电压与电流驱动的。其驱动信号为指令位置与 / 或速率以及测得实际位置与 / 或速率之间的差值。

**Shock (电击)** 当施加到人体的外部电源超过人体正常的电气承受能力时,会引起肌肉不自主地反应。

**Short circuit (短路)** 电阻极低的电路。

**Shunt (分流器)** 一个电阻器与仪表的测量部分并联,以处理或分流该部件中的大部分电流。该装置用于增加表计的测量范围。

**Sixty—The 60mA standard 60-60mA (标准 60mA)** 60mA 表示逻辑 1 而 0 表示逻辑 0。

**Slip ring (集电环)** 安装在电动机或发电机轴上的铜环,通过集电环电刷可以与转子线圈稳定接触。集电环常成对使用。

**Solar cell (太阳能电池)** 将光能转化为电能的电池,常由硅制成。

**Solenoid (螺线管)** 导线缠绕形成中空状的线圈,中空处常塞入某种磁心材料。它的移动常会移动开关或打开阀门。

**aplice (熔接)** 一种导线直接连接的接线方式。

**Static electricity (静电)** 当两个相反极性的电荷十分靠近时出现的一种能量表现形式。静电一般由摩擦引起。

**Stepper motor (步进电动机)** 一种直流电动机,转子每次可仅转动 1.8 英寸。

**System ground (系统接地)** 电路的中性导线或

地线接地,以防止闪电或其他超出电路设计限制的高电压。

**Tactile sensor (触觉传感器)** 通过触碰检测物体是否存在的装置。

**Target (目标)** 机械臂预期应到达并拾起一个物体的位置。

**Terminal (端子)** 导线的连接点,常见于蓄电池组、电池、开关、继电器、电动机以及配电板。

**Thermistor (热敏电阻)** 与通常电阻变化相反的装置(温度升高,电阻降低)。

**Thermocouple (热电偶)** 两种不同种类的金属组成的单元(加热时,接点会产生小电流)。

**Thermostat (温控器)** 作用与开关相同的装置,热量会引起两种金属片以不同的膨胀率膨胀,从而引起开关操作。

**Three-way switch (三路开关)** 用在需要将灯或电路在多处闭合或断开的地方。

**Toggle switches (拨动开关)** 闭合与断开多种电路,或将电路从一个装置接到另一个装置上,这种开关有多种配置。

**Transducer (传感器)** 将机械能转变为电能的装置。

**Transformer (变压器)** 利用磁力线将电能从一个绕组感应到另一个绕组上,以升高或降低电压的装置。

**TTL standard (晶体管—晶体管逻辑电路标准)** 使用 5V 信号表示逻辑 1 而 0V 表示逻辑 0。

**Underwriters' Laboratories (美国安全检测实验室)** 一个检测电气设备、电气系统与电力材料,以确保其满足特定安全操作标准的组织,UL 为其商标,是一个非营利性的组织。

**Universal motor (交直流两用电动机)** 又叫通用电动机,既可在交流电下运行又可在直流电下运行的电动机。

**Volt (伏特)** 电动势的计量单位。

**Voltage (电压)** 使电子沿着导体移动的电动势。

**Voltmeter (电压表)** 测量电压的仪表。

**Watt (瓦特)** 电功率的单位。

**Watthour meter (电度表)** 测量一小时内电功率的仪表。

**Work envelope (作业区域)** 机械手臂在正常工作周期内移动的空间。

**Worm gears (螺旋齿)** 将直线运动转化为旋转运动,或相反。

**X** 为电抗的标识,单位为欧姆( $\Omega$ )。

**Zener (稳压管)** 一种半导体二极管,电压达到预定值时会击穿,通常用于电压调整电路。



# 思考题与练习题答案

## 绪论 思考题

1. 电是电子沿导体的运动。
2. 原子是元素中保留该元素所有属性的最小粒子。
3. 元素是宇宙中最基本的物质。
4. 静电是可能移动的静止电子，电流是自由电子的移动。
5. 自由电子通常是元素的外层电子，它们是易于运动的电子。
6. 导体是带自由电子并有使它们易于流动路径的任何物质。
7. 绝缘体是限制电子流动的物质。
8. 半导体是一种用于制造晶体管和二极管的材料。
9. 6种产生电的方法是：摩擦、压力、热、化学反应、磁以及特种发电机。
10. 特种发电机是指燃料电池和磁流体(MHD)发电机。
11. 安培(A)。
12. 伏特(V)。
13. 欧姆( $\Omega$ )。
14. 数字越大线径越小。
15. 闭合电路是指能提供闭合路径使电子从电源的一端流向另一个端的电路。
16. 开路是指不能提供一个闭合路径使电子从电源的一端流向另一个端的电路。
17. 当电路发生短接时，就会产生短路，使得电子很容易从电源一端流向另一个端。
18.  $R=E/I$
19. 1000kW 是 1000W。
20. 1000kW·h 是 1000kW 使用一个小时。
21. 仪表分流器允许仪表用不同的量程来测量电压、电阻或电流。
22. 将一个二极管与仪表测量机构相串联。
23. 电压表测量电压，欧姆表测量电阻（并且它有自己的电源）。
24. 它可以用作电压表或电流表。
25. SPST 是单刀单掷，DPDT 是双刀双掷，SPDT 是单刀双掷，DPST 是双刀单掷。
26. 拨动开关通常用在家庭或者电子设备的开关位置。
27. 三路开关允许从多个位置进行控制。四路开关允许从三个或更多个位置进行控制。
28. 螺线管是接通和断开电、气或水的装置。继电器是用于远程控制的电磁装置。
29. 二极管是允许电流只在一个方向上流通的半导体或真空管装置。
30. 电阻器是阻碍电流流动的装置。

## 第1章 思考题

1. 4in 的小型钳子，7in 斜嘴钳，4.5in 细尖嘴钳，5in 薄尖嘴钳。有 16 种类型的钳子，参看相关章节获取完整的列表。
2. 圆头锤用于敲打金属，它的一端有一个圆头。羊角锤用于敲击或者拔出木头里面的钉子，有角的一端用来拔钉子。
3. 有不同锯齿的锯条用于切割厚度不同的杆、管材或其他材料，例如，铸铁、机件钢、黄铜、铜、铝、青铜或石板。
4. 内六角扳手用于对无帽螺钉进行操作。
5. 需要它们给不同的螺栓施加合适的转矩。
6. 螺帽旋具无非是在螺丝刀手柄上安装套筒的螺丝刀，使用方法同螺丝刀类似。
7. 100W。
8. 由塑料或其他类型的绝缘材料，如酚醛树脂制成。
9. 大折刀、剥皮刀。
10. 兆欧表用于测量电动机、压缩机、导体等的绝缘电阻。



11. 用于检查可编程序控制器。
12. CMOS 的意思是互补金属氧化物半导体 (Complementary Metal Oxide Semiconductor)。
13. 用于检测短路或闭合回路。
14. 用于检测波形, 由此可以分析并显示出电路在何处出现问题。
15. 在震动模式下, 平衡分析仪可以通过数字显示屏获取位移、速度和加速度的读数。在频闪模式下可以显示由于震动和不平衡负载导致的运行中断。
16. PVC 管通常用手锯切割, 但是现在有种特殊的切割刀可以快速完成切割。
17. MCM 意思是千圆密耳 (相当于直径为 1 密耳的圆面积)。
- 18 导管铰刀可以在切口端产生平滑的边缘。

## 第 1 章 练习题

1. 500V。
2. 750V。
3. 10V。
4. 6V。
5. 3.25V。
6.  $1.68\Omega$ 。
7.  $2.666\Omega$ 。

## 第 2 章 思考题

1. 电流。
2. 低于 1A, 大约 200~300mA。
3. 心跳失去控制的时候, 通常是由触电导致的。
4. 接地故障断路器。
5. 美国国家电气规程。
6. 熔断器, 断路器。
7. 当流过超过额定或设定水平电流时。
8. 在给定电流下会熔断。
9. 通过额定电流。
10. 765 000V (中国的 1 000 000V 为目前实际最高的电压)。
11. 美国国家电气规范是世界上使用最广泛的规程。它帮助规范了用电的各个方面。
12. UL 测试了所有电气设备的运行安全性。
13. CSA 代表加拿大标准协会和美国的 UL 一样。
14. 职业安全与健康法案。
15. IEEE 代表电气与电子工程师协会, ANSI 代表美国国家标准协会。
16. OSHA 中的橙色用于表示危险的机器部件、安全起动按钮、滑轮、齿轮、滚筒、切割设备及电爪裸露的部分 (边缘)。

17. 水能导电。
18. 合理使用安全设备, 穿合适的工作服。
19. 接地就是把设备或者系统可靠连接到地。接地系统分为两种: 系统接地和设备接地。
20. 经阻抗接地用于 Y 形系统中。△接系统用 Z 形接地变压器接地。

## 第 2 章 练习题

1. 54W。
2. 300W。
3. 1.25A。
4. 62.5A。
5. 153.458W。
6. 1.554A。
7. 15.5416A。
8. 12.433A。

## 第 3 章 思考题

1. 电气符号是建筑和设计图的设计和接线图的简写形式。
2. 参照第 3 章介绍符号的部分 (任选其五)。
3. 电阻的色标能告诉你电阻器有多大的阻值以及其允许误差。电阻器的物理尺寸决定着额定功率。色标是由彩虹的颜色构成的。每种颜色对应着一个已分配好的值。
4. 基本继电器接线图能显示继电器的触点是在闭合还是断开位置。
5. 梯形图可以简单地表示任何带有火线和地线的电气线路, 可以想象它们是连通电源的轨道, 而电路元件连接在轨道之间。
6. 原理图中元件的连接方式多种多样, 而梯形图是由连接在梯子中的元件组成的, 就好像梯子上的横档一样。

## 第 3 章 练习题

1.  $310\Omega$ 。
2. 2A。
3. 每个 15V, 0.15A。
4. 2A。
5.  $20\Omega$ 。
6.  $20\Omega$ 。
7. 13.33V。
8. 电流会增加。

## 第 4 章 思考题

1. 因为当需要重新装配的时候, 记住每条线路是



不可能的。

2. 在需要欠电压保护的地方, 它们被用于启动和保护额定功率小于或等于 1 马力的小型电机。
3. 梯形图就是简单的原理图, 图中包括开关或其他设备。
4. 保持接触控制装置可以无须操作人员而自动进行控制。
5. 通常情况下, 双线控制是一种梯形连接通断开关的手动控制。三线控制除了具备双线控制的功能外, 还可指示设备处于通或断的状态, 同时它还可以通过按下测试指示灯, 帮助排除灯泡灯丝故障。
6. 线圈断开了与电源的连接。
7. 就是低电压保护。当电源的故障电压降低到低于保护定值时, 起动器将退出, 但是当电压恢复正常时, 起动器不能自起动。
8. 为了形成短接路径(比如用跳线短接一个电阻, 使其失效)或者暂时形成测试电路。
9. 高达 11 倍的启动电流。
10. 堵转电流是指将电动机轴固定不动, 通电后电动机中流过的电流。堵转电流与启动电流在数值上相等。
11. 热保护装置对温度非常敏感, 并且内嵌在小功率电动机和压缩机内部, 超过设定值就会动作断开电路。它们可以通过手动复位也可以自动复位。
12. 为了防止电动机过热和烧坏相关设备。
13. 手动起动开关可控制设备的通断和点动。
14. 电路中电气设备的位置。
15. 梯形图。
16. 与某根电源线的连接点。
17. 两线是使用两条电源引出线的简单控制电路。
18. 为了防止触点断开时的短路。
19. CR1 和 CR2 表示电路中的低电流线圈继电器。
20. 梯形图便于理解电路中继电器的动作顺序, 线路图很容易通过跟随电流获取必要的信息。接线图显示了所有的电子元器件以及它们在电路中的位置。

## 第 4 章 练习题

1.  $2.666\Omega$  (总是小于最小的电阻)。
2.  $12\Omega$ 。
3.  $5400\Omega-0.207A$ 。
4.  $78\ 000\Omega-0.014\ 35A$  或  $14.35mA$ 。  
 $10\ 000\Omega-0.045A$  或  $45mA$ 。  
 $5000\Omega-0.09A$  或  $90mA$ 。
5.  $0.231\ 75A$ 。

6.  $0.165A$  或  $165mA$ 。
7. 10 个。
8.  $0.004\ 642A$  或  $4.642\ mA$ 。

## 第 5 章 思考题

1. 将轴转动  $180^\circ$ , 卸掉手柄螺钉和手柄, 然后更换手柄和手柄螺钉。
2. 凸轮开关。
3. 有些直流电动机用换向极(换向绕组)抑制电刷电弧。
4. 浮动开关用于控制水泵的打开和关闭, 以使水箱维持在指定的水位, 或者作为水池水泵的控制。
5. 在没有火灾情况下, 自动喷水灭火警报系统中的浮动开关可以通过检测水流的大小发出动作并报警。这可以提醒操作人员在水造成过多损失前关闭自动喷水灭火系统。
6. 操纵杆是有很多通断触点的开关装置, 它有很多种组合形式, 它能控制起重机或游戏机。有两种操纵杆开关: 标准式——操作者可以自由移动操纵杆, 以及锁定杆式。锁定杆式要求操作者在杆可以移动之前解除锁定环。开关动作可以是瞬时的也可以是持续接触的, 或是两者的组合。
7. 出于安全目的使用互锁开关, 如在反转前, 使电动机停止。
8. 常闭触点用于互锁开关中。
9. 限位开关限制了设备的移动, 如车库门开启器。有 5 种类型的限位开关:
  - a. 重型油密(C 型)
  - b. 小型封闭簧片开关(XA 型)
  - c. 重型油密铸造开关(FT 型)
  - d. 瞬时开关
  - e. 重力复位式限位开关
10. 压力开关的两种类型: 活塞型和开放型。
11. 按钮开关用于门铃、电磁起动器的控制电路中, 当然, 还有很多其他的应用。
12. 安全开关通常装在上锁的箱子里, 以防止被人篡改和接触。
13. 选择开关可以决定电动机的移动方向、起停以及慢速控制。
14. 拨动开关可以开启和关闭各种装置, 或者从一个装置切换到另外一个装置。
15. 真空开关可以控制电动机, 有双掷的常开和常闭触点, 用于正反转控制。
16. 单刀单掷的通断开关是最常用的。
17. 可以。



- 18. 浮动开关。
- 19. 流量开关。
- 20. 通过使用流量开关检测气流。

第 5 章 练习题

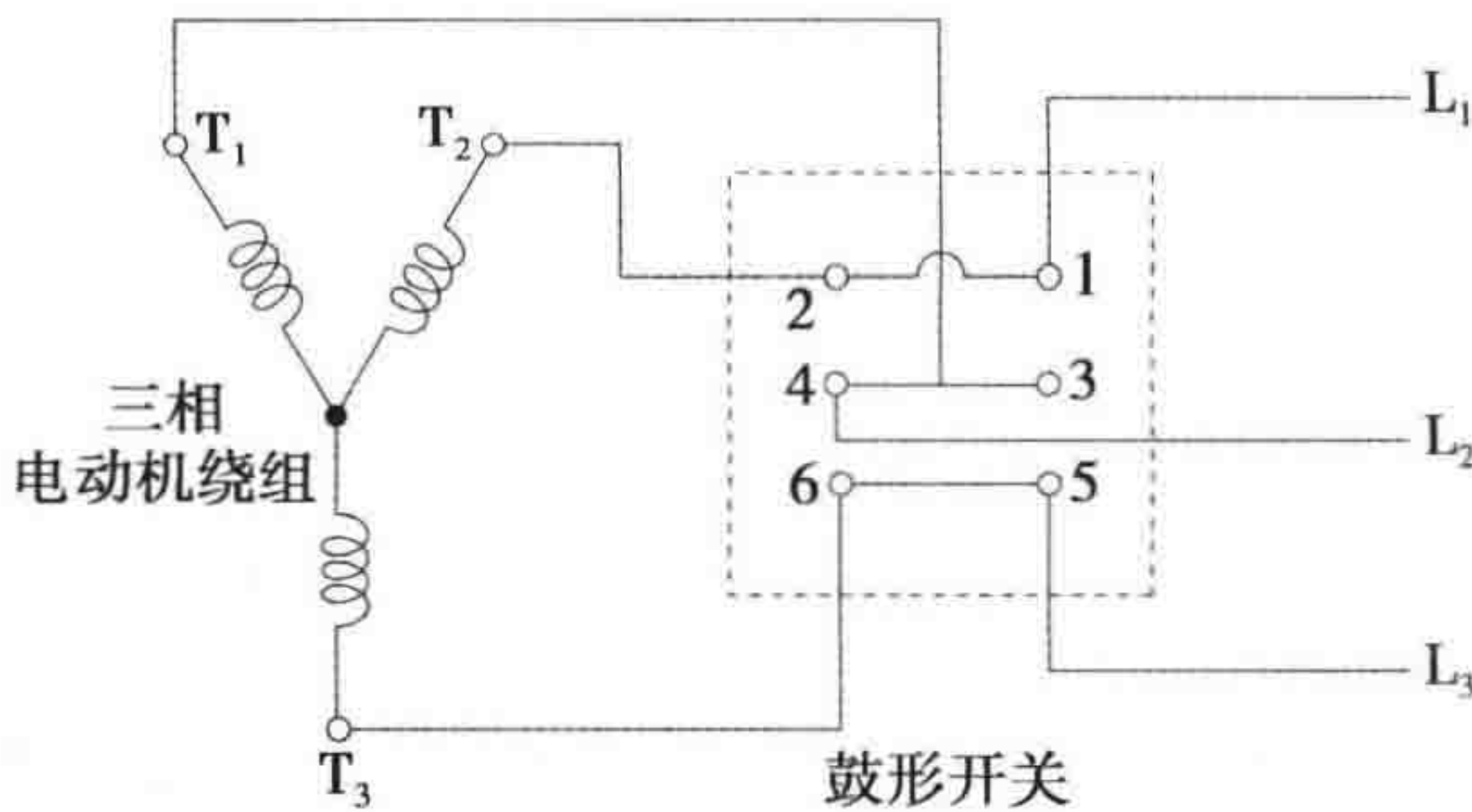


图 P-1

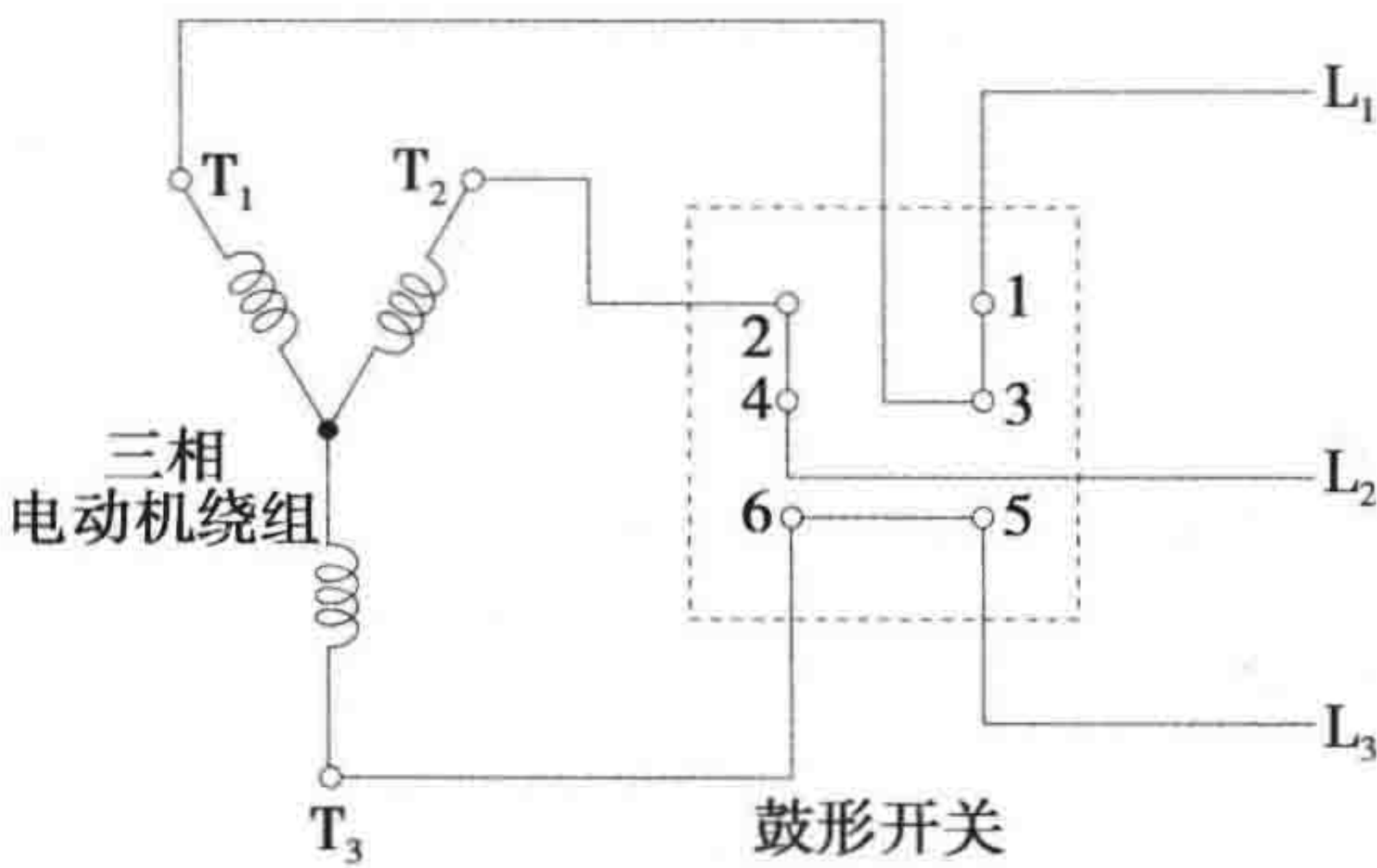


图 P-2

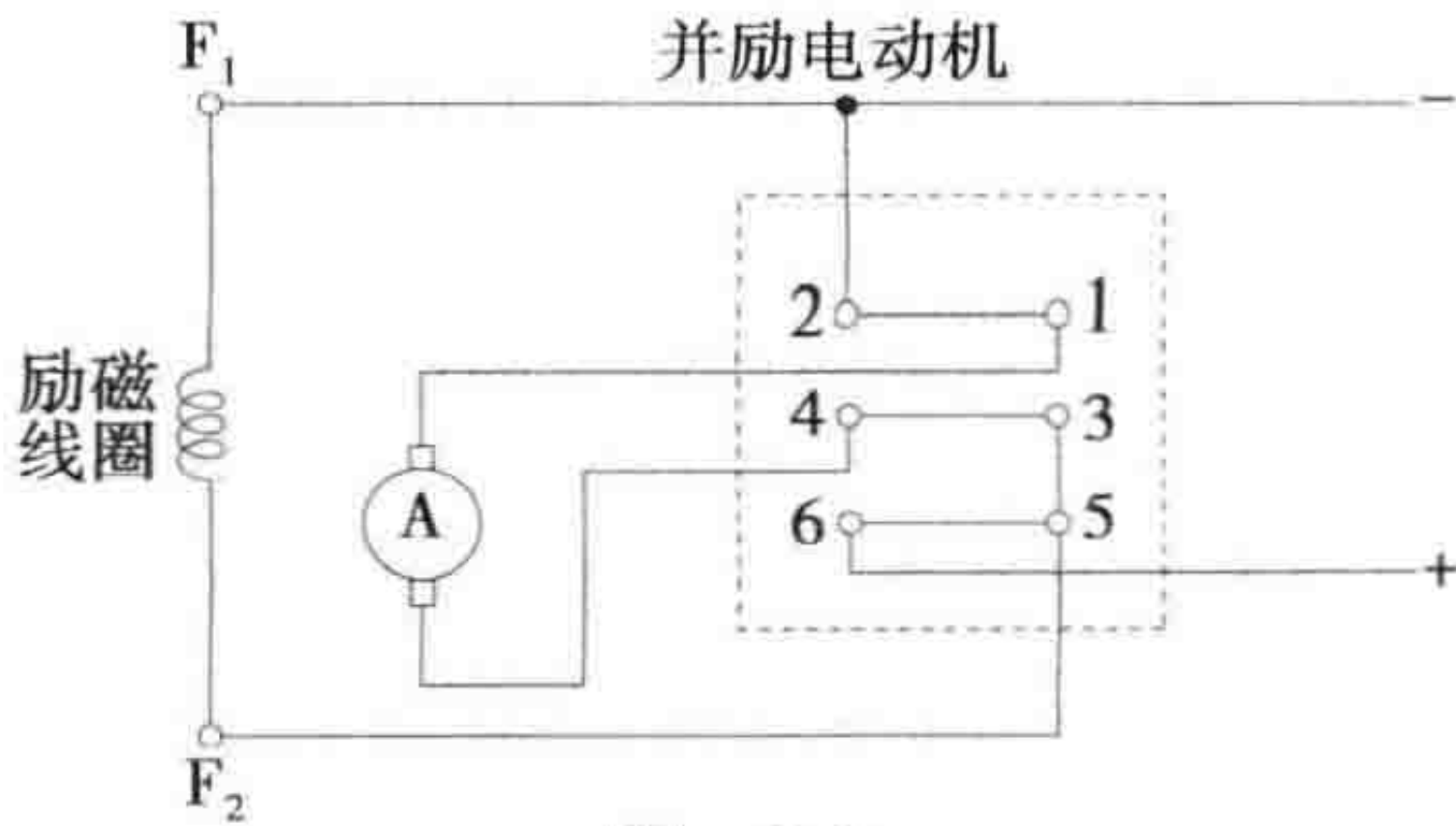


图 P-3

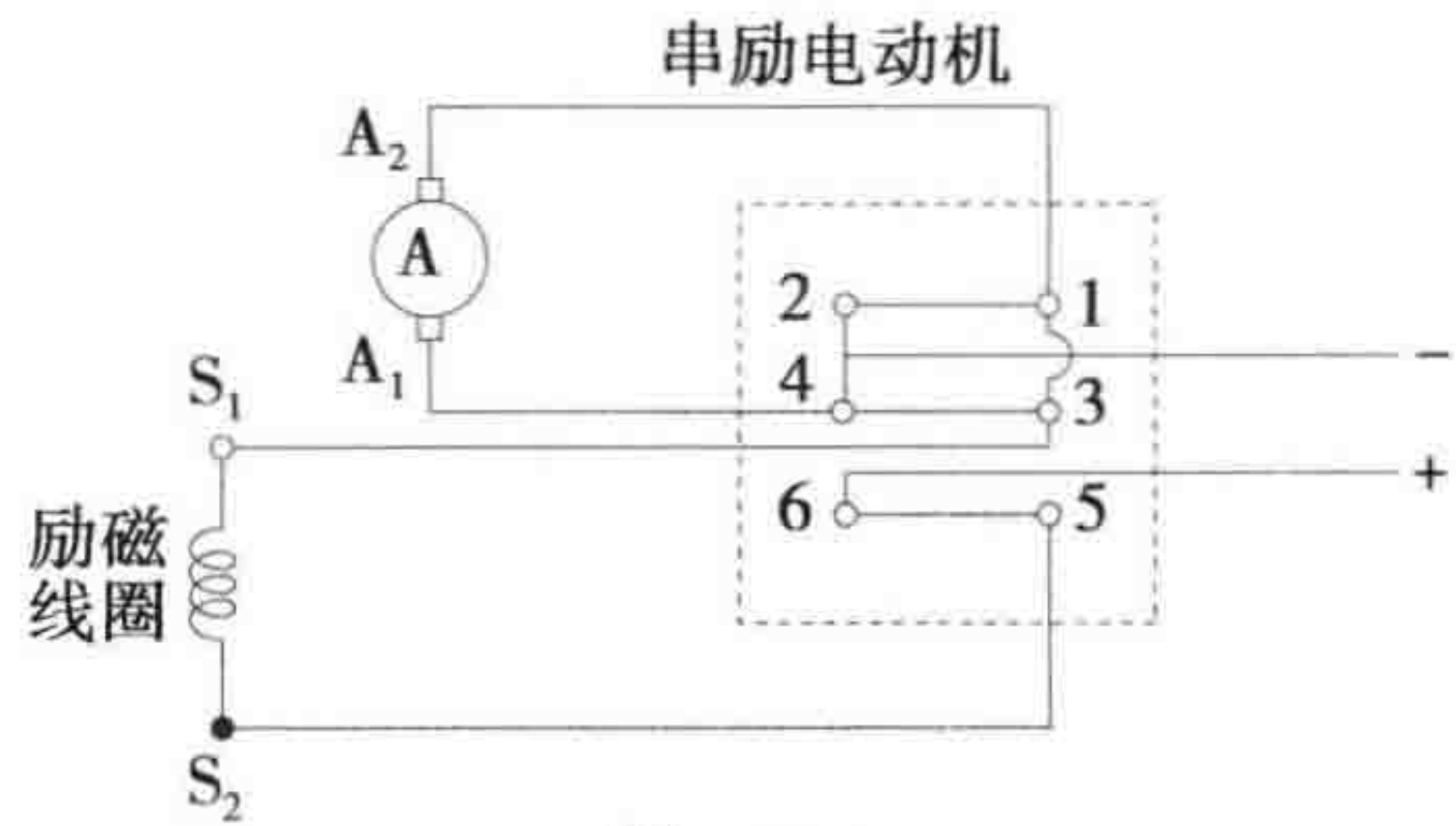


图 P-4

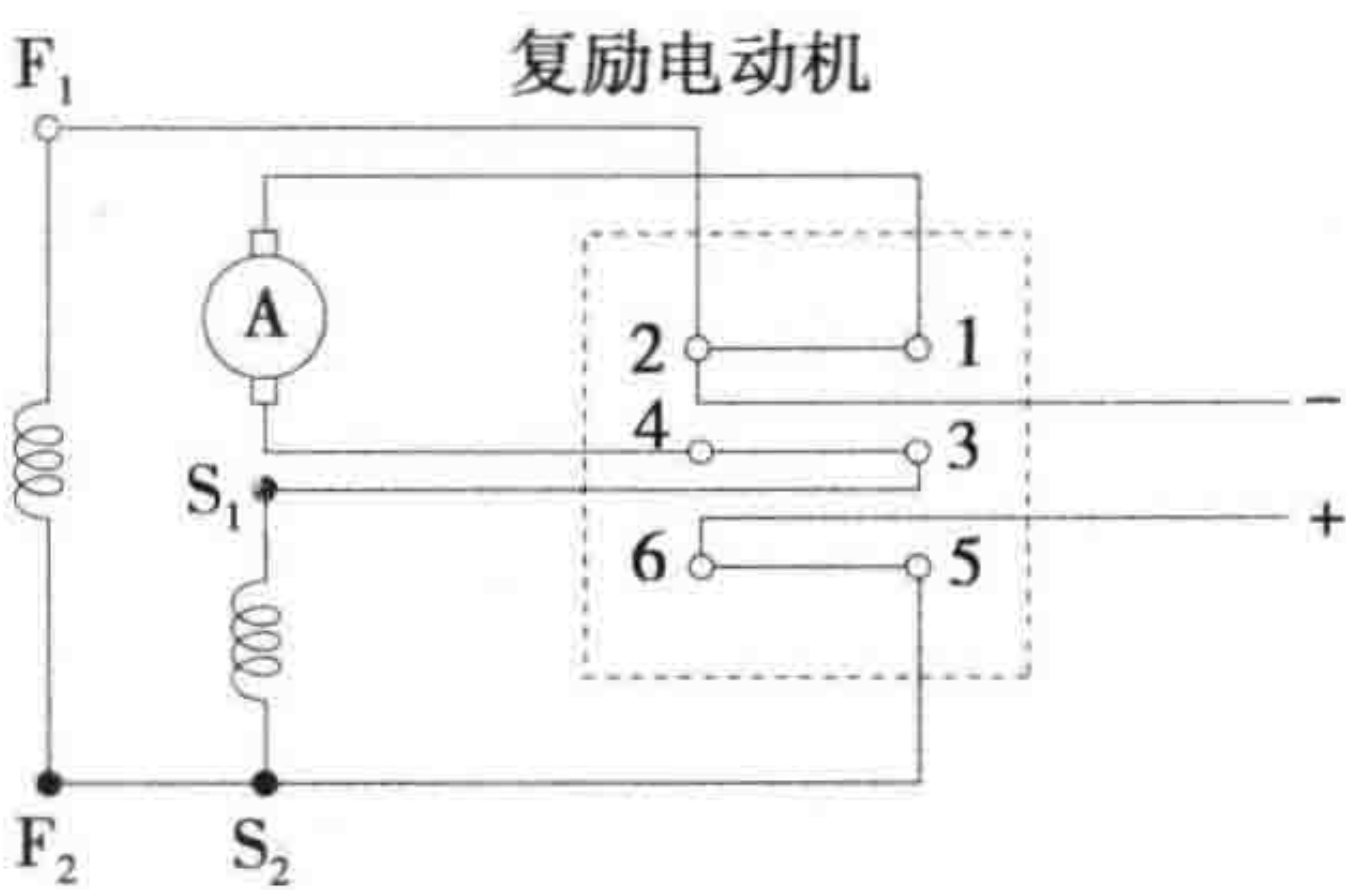


图 P-5

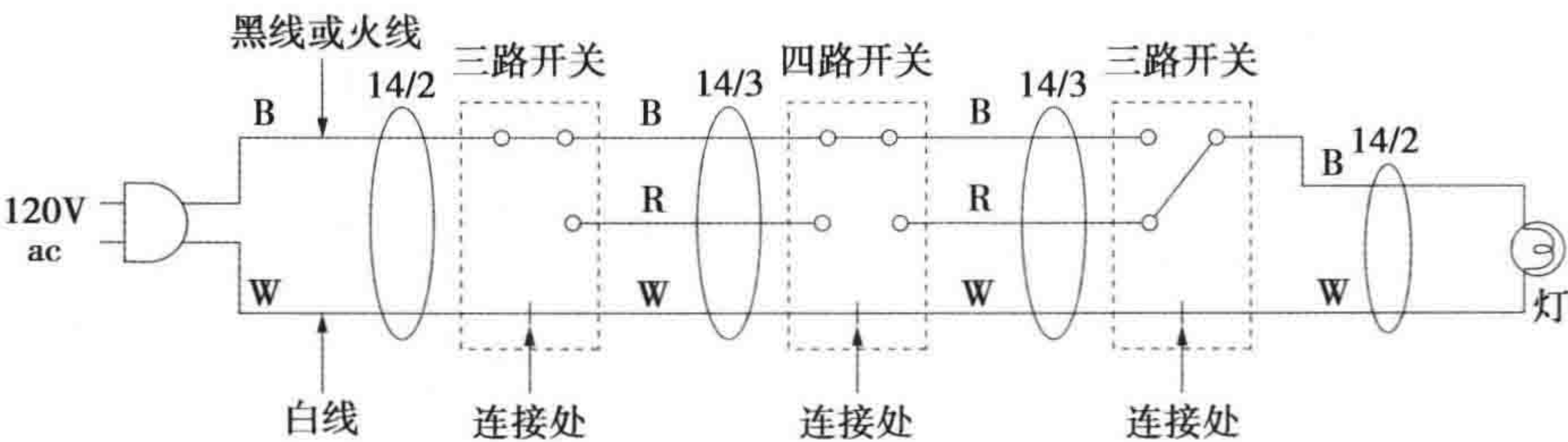


图 P-6

第 6 章 思考题

- 1. 大约是公元前 2600 年。
- 2. 螺线管由作为磁体的通电线圈和可动铁心构成，线圈通电后，铁心趋向于被拉进线圈中心。可动铁心可以和开关触点配合，作为一个通断开关来使用，线圈一旦通电，闭合开关触点。
- 3. 电磁阀用于打开和关闭电气阀门。线圈通电，阀门打开，通过磁力拉起阀球上的活塞；当线圈断电时，在活塞重力和液体压力的作用下阀

- 门关闭。
- 4. 涡流是当磁场靠近铁片时产生的，它会产生热量，引发螺线管故障。可以通过对螺线管铁心使用钢叠片而减小涡流。
- 5. 交流螺线管上的短路环能减少变化电流所产生的震颤。
- 6. 感抗的单位是欧姆，用符号  $X_L$  表示。当改变线圈的电流或电感量时，它会阻止电流的变化。
- 7. 额定维持电流是螺线管通电或完全闭合后流过的电流。
- 8. 低的控制电压能够减小磁力。



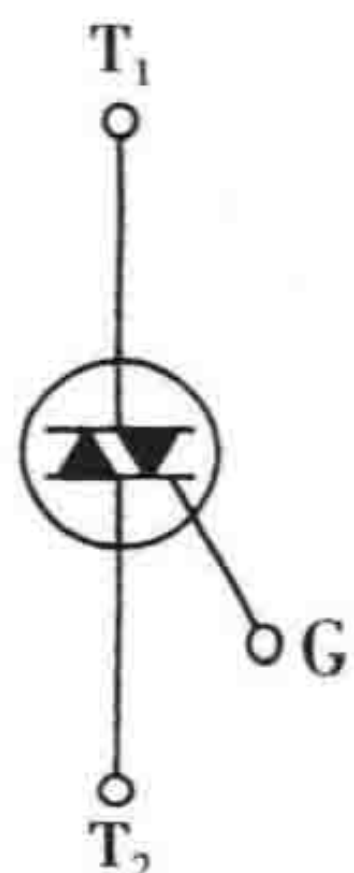
9. 磁体组件的嗡嗡声可能由以下几种情形产生：  
(1) 短路环损坏；(2) 操作电压过低；(3) 线圈失常；(4) 衔铁和磁体组件配合得不好；  
(5) 污垢、锈、锉屑等；(6) 运动部件的阻塞或者黏结；(7) 控制器安装不正确。
10. 共振板效应的意思是将螺线管安装在类似于胶合板上面被放大的嗡嗡噪声。

## 第6章 练习题

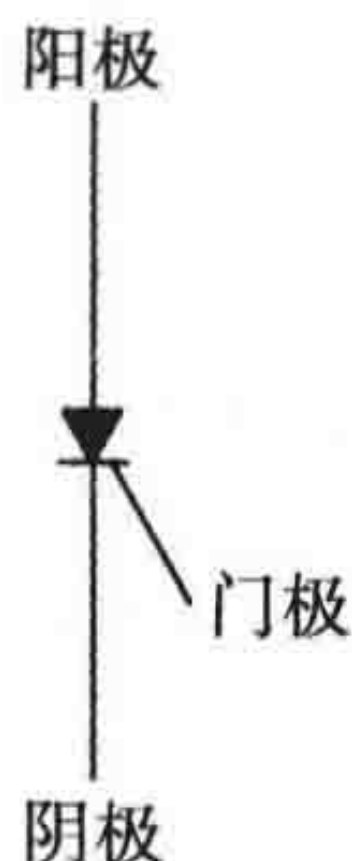
1.  $2260.8\Omega$ 。
2.  $2260.8\Omega$ 。
3.  $L=4.558H$ 。
4. 1A (直流电流，频率为0，没有感抗，只有线圈电阻， $I=U/R=120V/120\Omega=1A$ )。
5.  $3140\Omega$
6. 感抗                  阻抗  
a.  $6280\Omega$                $8027.35\Omega$   
b.  $12\ 560\Omega$             $13\ 518.64\Omega$   
c.  $18\ 840\Omega$             $19\ 492.18\Omega$   
d.  $25\ 120\Omega$             $25\ 612.78\Omega$   
e.  $31\ 400\Omega$             $31\ 795.60\Omega$
7. 感抗                  阻抗  
a.  $1884\Omega$                $2132.95\Omega$   
b.  $1570\Omega$                $1861.42\Omega$   
c.  $785\Omega$                 $1271.31\Omega$

## 第7章 思考题

1. 继电器是一种用于远程控制其他设备的装置。
2. SPST——单刀单掷  
SPDT——单刀双掷  
DPDT——双刀双掷
3. 开关触点、螺线管线圈、衔铁、铁心、弹簧。
4. 抛光——用砂纸打磨或用锉刀锉继电器触点使其清洁。
5. 固态继电器可以是NPN/PNP型的晶体管，也可以是晶闸管(可控硅整流器)。
6. 固态继电器的优点是没有触点，流过的电流小，尺寸小，无噪声。
7. 双向可控硅可以控制两个方向的电流。



8. 晶闸管可以处理的电流比双向可控硅要大。
9. 晶闸管有更高的额定值。
10. 如图



11. 基本上晶闸管是一个整流器，允许电流单相流通。
12. 反相意味着交换三相电动机中的任意两相，可以改变其旋转方向。
13. 螺线管无法保持开关触点处于闭合状态时的电压称为释放电压。
14. 当电压处于两个设定值之间时，过电压/欠电压继电器得电。
15. 固态继电器的零电流消除了噪声尖峰。
16. 通用型固态继电器只在交流正弦波给定的时间范围内工作。
17. 感性负载需要瞬时接通继电器，这是由线圈及其电感的性质决定的。
18. 热敏继电器通过外接的能感应供电电压变化的热敏电阻来工作的。
19. 触点放大继电器用在触点没有足够大的额定电流值和额定电压值地方以驱动如线圈、螺线管、或小型电动机。
20. 负载监测器可以用于碎石传送机类的情况下，如监视钻孔操作或者是保护风扇系统。
21. 热过载继电器分双金属型和易熔合金型。
22. 热过载继电器的热过载单元用于快速跳闸、标准跳闸和缓慢跳闸。
23. 热过载继电器的分类说明了其切断电路所需的时间，如10s、20s或者30s。
24. 电流继电器对得电所需的电流大小很敏感。电压(电位)继电器对得电所需的电压大小很敏感。
25. 有3种类型的逻辑继电器：自锁继电器，控制继电器以及时间继电器。
26. 闭合额定值——继电器触点可以接通的电流大小。  
断开额定值——继电器失电时可以处理的电流大小。
27. 瞬态抑制器用来防止周围固态设备受到干扰。
28. 高温会使线圈绕线绝缘损坏和短路，触点上的



高温会使触点焊接在一起而永久短路。

- 29. 是。
- 30. 电感额定值指的是触点可以闭合、断开以及长期承受的电感性负载，如起动器，继电器和螺线管等。
- 31. 电阻额定值：切换阻性负载时的负载容量。
- 32. 持续运行额定值是继电器触点在电路接通一段时间后可以处理的电流。
- 33. 继电器触点寿命也可以由所选择的材料决定，电弧会严重缩短一组触点的寿命。

第 7 章 练习题

- 1. 1.33A。
- 2. 0.44A。
- 3. 5.34V。
- 4. 1.76V。
- 5. 1.33A。
- 6.

电阻	电阻值 (Ω)	压降 (V)	电流 (A)
$R_1$	3	6	2.00
$R_2$	5	5	1.00
$R_3$	16	16	1.00
$R_4$	3	3	1.00
$R_5$	4	8	2.00
$R_6$	8	8	1.00

第 8 章 思考题

- 1. 将右手的大拇指指向电动机的旋转方向，食指指向磁力线的方向，则中指指向电流的方向。
- 2. 直流电动机的电枢是电动机的旋转部分。
- 3. 反电动势为电动机中的感应电动势或电压，它与施加的电压相反。
- 4. 负载通常使电动机的转速随其（负载）增加而减小。
- 5. 串励，并励，复励。
- 6. 高起动转矩，可以直流运行，也可以交流运行。
- 7. 转速恒定。
- 8. 短复励：串励绕组与电枢串联，复励绕组并联在电枢上；长复励：串励绕组与电枢串联，然后与复励绕组并联。
- 9. 通过改变励磁电流或者是改变电枢中的电流来控制转速。并励电动机的转速由与励磁绕组串联的可变电阻器来控制。
- 10. 电枢在磁场中旋转自身会产生感应电动势。
- 11. 电枢在磁场中旋转会产生反电动势。

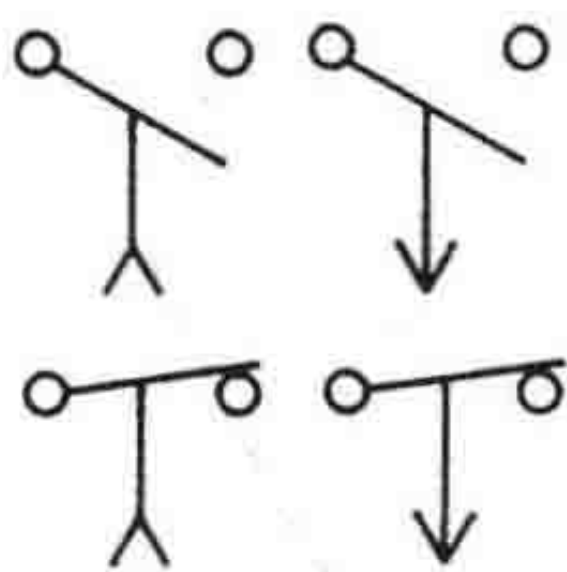
- 12. 串励电动机，同步电动机和感应电动机。
- 13. 通用型电动机。
- 14. 转速恒定。
- 15. 转子的形状和鼠笼相似。
- 16. 同步电动机通过使用一个离心开关和一个在同步转速时接入的直流电源来起动。

第 8 章 练习题

- 1. 3 lb · ft。
- 2. 4.5 lb · ft。
- 3. 12.9A。
- 4. 16.21A。
- 5. 32.43A。
- 6. 30A。
- 7. 283.35A。
- 8. 24.08A。
- 9. 3.34hp。
- 10. 1200r/min。

第 9 章 思考题

- 1. 阻尼定时器、同步时钟定时器、电子定时器。
- 2. 阻尼定时器利用一个带可变孔径的气压室进行工作。
- 3. 气动式定时器具有准确度更高，定时范围更广的优点。
- 4. 通电延时——通电一段时间后继电器闭合。断电延时——具有常开触点与常闭触点，线圈断电以后触点保持一段时间的接通状态，这段时间是预设的。延时时间——继电器断开或闭合所需要的延时。
- 5. 通用定时继电器用在需要对机器进行自动定时的地方。
- 6. 通过一个五位旋转开关设置延时。
- 7. 通电延时模式、断电延时模式、间隔模式以及周期脉冲。
- 8. 指轮开关用于电子电路的时间设定与手动计数。
- 9. DIP 用小螺丝刀或圆珠笔来设置。
- 10. 气动延时继电器用在电动机加速与自动控制电路中。
- 11. 符号如下：



- 12. 电介质是将电容的两个极板分隔开的物质（空



气、真空或其他物质)。

13. 热电偶、热敏电阻、电阻温度检测器、半导体温度传感器。
14. 热敏电阻被加热时电阻阻值会减小。
15. 压电法与应变计法。
16. 双列直插式封装。
17. 工业上标准的定时器倾向于使用固态型定时器。
18.  $\text{电阻}(\text{M}\Omega) \times \text{电容}(\text{mF}) = \text{时间}(\text{s})$
19. CR 表示控制继电器。
20. 通用定时继电器通过继电器外壳上的一个旋钮可以调整时间。

## 第9章 练习题

1. 15s。
2. 1s。
3. 48.3s。
4. 10s。
5. 90s。
6. 5s。

## 第10章 思考题

1. 接触式或非接触式。
2. 传感器。
3. 限位开关。
4. 限位开关、接近开关以及光电管。
5. 也可以检测传送带上物体移动的方向。
6. 通过调整主弹簧或辅助弹簧上的受力。
7. 螺母套管以及密封套用于安装与保护。
8. 将机械轴的旋转情况转化为精确的电能输出信号的设备。
9. BCD——二进制转换为十进制数。
10. 多路复用技术——使单导线(总线)可以交替传递从多个信号源传来的信号。
11. 接近开关用于物料运输。
12. 传感系统最需要的特征是可靠性。
13. 红色、绿色、黄色与红外线。
14. 天线、射频终端、通用识别接口。
15. UII 是通用识别接口。
16. 通过读取符号(如条形码)。
17. 转速开关可接线成用于两个方向或其中任意方向的反向制动。转速开关也可完成防止反向制动的操作。
18. LO 表示锁定螺线管。
19. 格雷码是二进制形式的一系列数据,格雷码中一次只有一位的数值可以改变。格雷编码盘通常是纤维玻璃的。编码盘的速度通常是

2000r/min。

20. 这会使所有输出变成高阻状态。

## 第11章 思考题

1. 螺线管是一类装置,可对电力、气体、油或水进行开关操作。
2. 线圈通电时倾向于对准铁心,这样两端都可以均匀地露出。由于线圈中心的磁场强度最大,使线圈具有吸入效应或者拉动效应。
3. 衔铁是螺线管的可移动部分,可控制水、油、气体、电力等开关操作。
4. 螺线管中的线圈是最重要的部分。
5. 螺线管线圈的分类: A 类、B 类、H 类、BW 类、W 类。
6. 双线圈螺线管有两个线圈,可串联也可并联,这取决于可用电压是 120V 还是 240V。
7. 串联平衡隔膜电磁阀用于熔炉、锅炉与类似装置中气体的开关控制。
8. 这是正常的。
9. 电磁阀用在加热与冷却系统中,控制气体、水、空气或油的流量。
10. 当螺线管断电时,自动防故障阀门会自动关闭,从而避免任何不安全的产品流动。

## 第12章 思考题

1. 电压的变化幅度通常是由配电系统中的接线和变压器引起的。
2. 离心开关是起动系统的一部分,当电动机达到正常转速时,起动绕组会被离心开关断开连接。
3. 反接起动绕组引线。
4. 排斥式感应电动机有推杆和绕线电枢。
5. 电容式起动电动机可以带载起动。
6. 反接起动绕组连接。
7. PSC 用在空调和制冷中,它不需要开关机构来起动。
8. 风扇、时钟、鼓风机。
9. 需要一个起动绕组和一个运行绕组。
10. 5~8 倍的满载电流。
11. 起动电流降低。
12. 缓冲起动器。
13. 降低额定功率和功率因数。
14. 降压。
15. 全压型。
16. 不适合频繁起动。不适合用在加速时间长和频繁起动的场合。
17. 用于降低起动电压。



18. 迫使操作者在切换到更高速度之前低速启动电动机。
19. 速度下降。
20. 允许电流在两个方向上流动。

### 第13章 思考题

1. 可控硅整流器。
2. 晶闸管。
3. 三相不平衡检测是指当电压不平衡超过不平衡设置限值时,就发生故障状态。电压不平衡设置从5%~14%可调(由NEMA标准定义)。
4. 反相是指互换三相电源中的任意两相可以改变电动机的旋转方向。
5. LED可显示控制器的状态。
6. “脏”电源是指进行电动机和电感器的开关操作时能产生电压尖峰的电源。
7. 防止电动机和照明的通断操作产生的电压尖峰。
8. 使用浪涌保护器。
9. 双向触发二极管是一个双端的半导体器件。它可以被触发允许任意方向的电流通过器件,用于控制交流电动机和接近探测器。
10. 双向可控硅是带有门极接线端的双向触发二极管。

### 第14章 思考题

1. 笼型电动机的转速取决于极数和电源频率。
2. 励磁机是用于激发同步电动机达到启动目的的直流电源。
3. 电动机在60Hz交流电下的转速范围为80~3600r/min。
4. 阻尼绕组用在同步电动机电枢上以辅助电动机启动。
5. 略,详见本书有关章节。
6. 功率因数补偿器,有时被称为旋转电容器。
7. 绕线转子电动机。
8. 大型绕线转子感应电动机。
9. 启动和转速控制。
10. 费用高,启动和运行时需要集电环、电刷和开关。
11. 使用简单,免维护,便于培训新的操作人员。可以提供交流绕线转子电动机无级平滑调速控制。
12. 由直流(DC)变到交流(AC)。
13. 测速发电机可以对设备运行的转速进行精确监测。测速发电机可控制电动机的转速。
14. 同步电动机是一台以恒定速度(同步转速)旋

转的电动机。

15. 通过一台带有换向器、集电环和电刷的直流发电机获得。
16. 极数和电源频率。
17. 当所需的双速不是2:1时,使用四速电动机。
18. 通过使用直流源激励和阻尼绕组。
19. 减震绕组。
20. 自耦变压器。

### 第15章 思考题

1. 手动启动器能提供全压启动,它们还提供热过载保护。
2. 低电压保护装置必须满足安全标准。
3. 低电压保护装置由三线控制的电磁启动器来提供。
4. 软启动是指电动机启动时电压的逐渐增加。
5. 启动电流限制在满载电流的200%~450%之间。
6. 微动或点动是电动机从静止状态开始的瞬间操作,为了驱动设备达到微弱运动的目的。点动可以通过手动按下启动-停止按钮或继电器来完成。
7. 反向制动是电动机反向连接使电动机产生反向转矩的制动系统。
8. 电气和机械方式。
9. A. 无摩擦、无磨损或免维护  
B. 具有可调的软停止能力  
C. 电动机轴无机械连接  
D. 多电动机制动能力  
E. 易连接到新的或现有的设备上  
F. 电动机不受恶劣的工作环境的影响
10. 动态制动。
11. 逆转保护确保电动机不会在停止过程中反向旋转。
12. 抖动是由线路噪声、电压/电流变化引起的。
13. 线路监测器用于监测三相电动机的状态。
14. 它防止电动机受到异常电压/电流的影响。
15. 报警意味着通告或传达。
16. 手动启动器用在木工机械、金属锯床和其他机床上。
17. Ⓜ代表电动机。
18. 电动机、机器操作员和自耦变压器。
19. 电子模块。
20. 保护操作员。

### 第16章 思考题

1. 在需要限速控制与波动负载下进行转速调整



时,使用绕线式电动机。

2. 同步电动机的功率范围是: 20 马力到几千马力。
3. 因为点动是指只要点动按钮被按下电动机就会运行。
4. 需要全压启动时,会用到全压控制器,它通常与三相电动机一起使用。
5. 当需要效率最大化,而最大启动转矩与其导致的启动冲击电流对系统具有不利影响时,可以使用一次电抗同步电动机控制器。这些控制器可用在需要恒速与设备功率因数需要补偿的地方。
6. 受控的加速时间(电流增加的速率)或转速增加的线性速率。控制器可设置为按线性时间加速。加速斜坡电位计可以改变电路的阻抗,使加速过程中转速变化平缓。
7. 当电动机长时间空载运行时,推荐使用节能装置。
8. 电动机中心用于容纳基础的控制装置——通常是固态装置。
9. 最简单的三相启动器是 Allen-Bradley 的型号 1 启动器,它带内置的过载保护。
10. 单相电动机反接启动接线,三相电动机反接三相中任意两相接线。

## 第 17 章 思考题

1. 变间距、皮带驱动、涡流驱动、直流驱动以及变频驱动。
2. 逆变器。
3. 电流源逆变器、调压逆变器、脉宽调制逆变器。
4. 负荷。
5. 50 马力及以上。
6. 调压逆变器(从不足 1 马力到 500 马力)。
7. 逆变器的成本较高,电路较复杂,需要经验丰富的技师。
8. 脉宽调制。
9. 机械装置与电子装置。
10. 线圈铁心使用叠片技术可最小化涡流。
11. 涡流驱动器的优势:初期成本低,控制器体积小,耗电少,电路简单等。
12. 300 马力及以上。
13. 变阻器的电能消耗很高。
14. 电动发电机组与控制设备的成本较高,容易过载。
15. 闭环包括执行器(电动机)、比较器、放大器、传感器(发电机)。
16. EEPROM:电擦写可编程只读记忆芯片。
17. 数字式交流驱动器的控制面板可作为功能全面

的操作控制台来使用。

18. 直流驱动的优点:技术简单,速度变化不影响效率,控制器体积小。缺点:直流电动机容易出现故障,需要转速计,功率因数随着速度的增加而减小。
19. 晶闸管(可控硅整流器)可以进行速度控制。
20. 交流驱动器的优点:易于排查故障,无须使用调整与校正的电位计,I/O 端口较多。缺点:需远程控制,低速时效率低,某些电动机与控制器需要转速计才能运行。

## 第 18 章 思考题

1. 变压器效率超过 99%。
2. 升/降压变压器用在需要少量升高或降低电压的地方。
3. 它们产生热量,会降低变压器的效率。
4. 磁滞是伴随电流和磁场极性变化的极性延迟变化或极性缓慢变化,是变压器铁心的一个属性。
5. 通过硅钢的叠片结构可以将磁滞最小化。
6. 通过使用较大规格的铜线将铜损最小化。
7. 传递热量到散热器,同时也作为导线之间的绝缘介质。
8. 1990 年 10 月 1 日,美国环保局规定,所有 PCB 变压器必须拆除、改造或配备新的故障保护。
9. 三次谐波总是出现在星形-星形联结中,可以通过使用 3 个柱形磁心结构使其最小化。
10. 干式变压器提高了效率,可以安装在车间与建筑物内。
11. 使用散热风扇时,容量可提高 33%。
12. 环氧树脂变压器用在变电站中。
13. 输入侧。
14. 感应电压是由交变磁通切割导线线圈产生的。
15. 当两个线圈被放置在彼此附近时,会产生互感。当一个线圈的磁通或磁场发生变化时,另一个线圈中产生的电动势也会发生变化。
16. 获取输出与输入电压比,然后用一次侧匝数乘以这个比值。
17. 自耦变压器只有一个绕组,对于期望电压通过抽头来获得。
18. 需要二次侧输出隔离的情况不能使用自耦变压器。
19. 涡流。
20. 变压器油。

## 第 18 章 练习题

1. 0.8A。



2. 1.22A。
3. 600V。
4. 0.133A。
5. 16V。
6. 1.25A。

## 第19章 思考题

1. 对应1对磁极的发电机转1圈。
2. 低速发电机的转子是凸极型的。
3. 无刷励磁机用来提供直流磁场。它是一个将交流电转换成直流电的交流发电机。
4.  $120^\circ$ 。
5. 提供一个安全系数和不同的电压输入。
6. 发电机的转速和极数。
7. 电枢电阻对输出电压的影响很小。
8. 计算公式：

$$\frac{\text{空载电压} - \text{满载电压}}{\text{满载电压}}$$

9. 备用电源用于对重要负载的供电保障。备用电源仅当主电源不可用时使用。
10. 将电源从主电源切换到备用电源。
11. 静态逆变器可将直流充电电源转换成标准的交流正弦波。
12. UPS的主要功能是隔离受保护的电子负载，使其免受电源偏差的影响。
13. 该系统利用单一热源（燃料）系统驱动两个过程，其中第二个过程是由废热驱动的。
14. 当指定的建筑物总负载超过预定水平时，利用调峰系统补足公用电网供电能力的不足。
15. 这种中断逻辑会根据感知到的紧急负载的大小，自动暂停相应数量的调峰负载。该逻辑把由备用电源供电的调峰负载重新转接至公用电网或者断开其供电连接，从而使得紧急负载可以立即转接到备用电源上。
16. 引导应急电源选择负载，一次一个。它可用在电梯、生产过程、多泵系统、污水处理厂、锅炉给水泵、空调制冷器、冷冻水循环泵、设备舱和工作站中。
17. 原动机系统可以包含任意数量的发动机型发电机组。
18. 根据负载量确定所需的发电机组数量。
19. 原动机类型有双发电机系统和多电动机系统。
20. 通过使用转换开关和传感器。

## 第19章 练习题

1. 当  $R=Z$  时相角为  $0$ ，代表纯电阻电路。
2.  $48.19^\circ$ 。

3.  $36.99^\circ$ 。
4.  $32.06^\circ$ 。

## 第20章 思考题

1. 简单辐射式系统连接单一变电站以公共供电电压接收电能，并将电压降到用电电压。
2. 一次侧环网辐射系统类似于简单辐射系统的现代形式。
3. 二次侧辐射系统能够恢复所有因一次馈线或变压器故障造成断电负载的供电。它使用二次环路提供紧急电力供应。
4. 一次侧选择辐射系统在每个负载区域至少使用两条馈线。当一条馈线退出运行时，另一条馈线有足够的容量给全部负载供电。
5. 二次选择辐射系统和一次选择辐射系统一样从电源点引出备用馈线，但是备用馈线通过变压器二次侧连接到每个负载上。
6. 改进的二次侧选择辐射系统比前面讨论的常规形式成本更低。该系统中，每个负载中心只有一台变压器，而不是两台。
7. 简单网络系统在城市的密度区域已经应用了很多年。
8. 简单点网络系统类似于二次侧选择系统，因为每个负载区域是通过两条或更多条一次侧馈线和两台或多台变压器供电的。因此，变压器通过网络保护装置连接到一条单一的负载母线上。
9. 一次侧选择网络是最适合应用于工业二次侧网络系统的形式。该网络系统中的每个变压器都配备有一次侧选择开关装置。
10. 故障电流可能是由电弧放电或短路故障引起的。故障电流是由一个按指数规律衰减的直流分量与一个衰减的交流电流叠加组成的。
11. 一次侧选择网络是工业二次侧网络系统中应用最广泛的形式。
12. 芯式变压器——铜绕组缠绕铁心。壳式变压器——铁心环绕铜绕组。
13. 自动应急开关系统是指当公共电源（正常电源）出现故障时，将负载切换到备用发电机或应急电源上的系统。
14. 以确保在需要的时候能正常工作。
15. 电缆管道是用于在建筑物、工厂、学校内电路布线的一种方法。
16. 可供使用的配电盘的规格和形状十分广泛，它是电源进入建筑物的终止点。出于安全考虑，配电盘中的断路器被封闭在柜体中。
17. 电缆桥架不属于电缆管道。



18. 适用于电缆桥架敷设的电缆绝缘套外标有 CT。
19. 确保没有设备损坏或人身伤害。
20. VSF——电压传感器, 频率。

## 第20章 练习题

1.  $R_y = 18\,000\,\Omega$ 。
2.  $R_x = 6000\,\Omega$ 。
3.  $R_z = 12\,000\,\Omega$ 。
4.  $4000\,\Omega$ 。
5.  $3333.33\,\Omega$ 。

## 第21章 思考题

1. PC: 个人计算机。
2. PLC: 可编程逻辑控制器。
3. 可编程序控制器由电源、处理器单元以及输入/输出模块组成。
4. I/O: 输入/输出。
5. 并行端口: 微处理器或计算机的输出, 与带有 8 根导线的扁平电缆相连。
6. 串行端口: 用 ASCII 码发送数据, 使用两条线路。
7. 选通线路: 并行端口的第八根线, 用于防止按键弹起引发错误。
8. TTL: 晶体管-晶体管逻辑电路。
9. 控制器与其他装置会用到 ASCII 码, ASCII 是美国信息交换标准码的缩写。
10. RS-232C 标准: 信号电压在  $-25 \sim -3V$  间时, 表示逻辑“1”或开关接通。 $+3 \sim +25V$  表示逻辑“0”或开关断开。
11. 电气噪声是多种电气电子装置产生的干扰。
12. 电气噪声通过干扰定期发送的编码脉冲来扰乱正在传输的信息或数据。
13. EMI: 电磁干扰。
14. 使用专门的硬件与设备产生编码信息并传输给处理器, 可用这种方式为个人计算机编程。
15. CRT: 阴极射线管。
16. 单元控制器的典型应用是协调并管理生产单元的操作。
17. 微型单元——是小型单元控制应用的可编程多功能数据与程序存储装置。小型单元——单元控制器系列中中等尺寸成员。
18. 用于检测有问题的设备包括测量计与示波器, 还有特制的测试仪表。
19. 典型的电动机控制器用于控制成套机械、车间设备、焊接、喷漆等。
20. 通过使用电子变频电路来完成。

## 第22章 思考题

1. 一种可编程的多功能操纵器, 可通过不同程序化的动作移动物料、零件、工具或专门的装置, 以完成不同的任务。
2. 是的。
3. 20 世纪 50 年代。
4. 微型处理器被称为机器人的大脑。
5. 夹持器是操纵器上手指形状的末端, 可以抓取或拾取多种物体。
6. 控制器与电源。
7. 定位点。
8. 手。
9. 手。
10. 作业区域。
11. 笛卡尔坐标系。
12. 矩形的。
13. 极坐标。
14. 气动、液压与电动。
15. 压缩空气。
16. 手臂型工具的末端。
17. 低端技术、中端技术与高端技术。
18. 齿轮、皮带、链条。
19. 限位开关。
20. 传感器分为接触型与非接触型, 也可分为内置型与外接型或无源型与有源型。
21. 触觉传感器。
22. 将机器人封装在笼型区域内。
23. 触觉、视觉。
24. 激光干涉仪。
25. 通过使用热电偶和热敏电阻来完成。
26. 单相与三相电动机。
27. 通过限位开关来完成。
28. 磁鼓型、空气逻辑型、继电器逻辑型、可编程型、基于微型处理器的微机型。
29. 集成电路或 IC 芯片。
30. 常用的机器人语言有: VAL、HELP、AML、MCL、RPL、RAIL、BASIC、COBOL。
31. 键盘。
32. 视觉系统。
33. 计算机集成制造。

## 第23章 思考题

1. 三相电动机的接地断开会使其减速。若开路相出现在为建筑中电灯供电的三相系统中, 一些灯会很亮而另一些会很暗。
2. GFCI (ground fault circuit interrupter) 接地故



障断路器——可以在有人员进入闭合接地回路时跳闸，它检测到毫安量级的电流时跳闸，断开主电路。

3. 用润滑油对电动机上的滚珠轴承进行润滑，可以达到散热、防锈蚀、隔绝杂质的目的。
4. 电动机轴承会由于特定情况引起故障，如润滑油较脏、润滑油不足以及杂质污染。
5. 润滑油的黏度对需要润滑的电动机很重要，黏度表示对液体流动的阻力。
6. 电动机要至少每六个月加一次润滑油。当然，密封的电动机不需要加润滑油。
7. 由于换向器与电刷，换向器的结构造成了电刷快速磨损。
8. 不符合电动机供电电源要求的情况有：电压波动、电压瞬变以及电力中断。
9. 尖峰电压是超出正常电压的短时电压冲击脉冲，可由开关、电动机以及其他设备的通断引起。
10. 电气噪声的定义为通过多种方式进入设备的非预期电信号。可由发电机、射频发射器、荧光灯、计算机、商用机器以及电气设备产生。
11. 超过正常电压的短时冲击脉冲称为电压瞬变，

它是由感应负载产生的。

12. 短路线圈测试仪用于检测笼型转子的短路与开路。
  13. 为了检测接地电容，首先应将测试仪器设置到合适的电压量程，然后将其与电容相连，若电容接地，能从额定线电压与测试仪的读数上看起来。
  14. 不需要任何连接或线路断开，而且这对操作员更安全。
  15. 高温会使绕组由于绝缘被击穿而短路。
  16. 环境温度是电动机工作区域周围的温度。
  17. 过热与电动机带载能力的误用。
  18. 是的。
  19. 利用伏特-欧姆计的测试探针检测二极管的引脚。然后调换探针再检测二极管。你将发现只在一个方向有电流流动而另一个方向没有电流流动，这表示其是在正常工作状态。然而，若在两个方向上都没有读数，或两个方向都有读数，这表示二极管出现故障了。
- 二极管只有一个方向有读数——二极管完好。  
两个方向都有读数——二极管被短路。  
两个方向都没有读数——二极管开路。